

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



**Análise da suscetibilidade de instabilização de blocos
rochosos na Aldeia de Monsanto e avaliação preliminar do
risco associado**

Joana Santos Conceição

**Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento de
Território**

Dissertação orientada por:
Professora Doutora Maria Isabel Gonçalves Fernandes (FCUL)
Professora Doutora Teresa Maria Bodas de Araújo Freitas (IST)

2019

Agradecimentos

Em primeiro lugar queria agradecer à Professora Isabel Fernandes do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e à Professora Teresa Freitas do Departamento de Civil do Instituto Superior Técnico. Agradeço pelo convite para a realização deste trabalho e confiança depositada, e por toda a prontidão na ajuda e orientação deste trabalho.

Um especial agradecimento à Naturtejo, E.I.M., empresa intermunicipal que faz a gestão do Geopark Naturtejo - Geoparque Mundial da UNESCO, em particular ao Dr. Carlos Carvalho, por todo o apoio e ajuda no trabalho de campo, e também à Câmara Municipal de Idanha-a-Nova, pela organização e suporte financeiro de alojamento e alimentação, aquando das campanhas do trabalho de campo.

Um especial agradecimento à Dra. Vera Lopes do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, por todo o companheirismo possível. As tantas viagens feitas de carrinha, as horas de campo ao frio e ao sol, os lanches partilhados, as pausas e as risotas, e tantos outros momentos!

Um agradecimento ao Professor João Calvão do Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pela ajuda com o drone e toda a sua dedicação e paciência incansável. O professor João foi essencial neste trabalho, os resultados do seu trabalho foram excelentes e cruciais para o desenvolvimento do meu trabalho.

À Sónia Queirós e ao Luís Gouveia, que permitiram analisar a fotografia aérea no Laboratório de Instabilidade de Vertentes, responsável pelo professor Fernando Marques, no Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

À Professora Cristina Lira do Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pela sua disponibilidade e dicas do *ArcGis*.

Às colegas do Mestrado GARGOT, pelos meses de partilha, apoio e ajuda entre todas.

Resumo

A aldeia de Monsanto, no concelho de Idanha-a-Nova, distrito de Castelo Branco, encontra-se edificada sobre um *inselberg* granítico. Esta aldeia, integrada no Geopark Naturtejo, tem ainda dois títulos atribuídos, nomeadamente o de Aldeia Histórica e o de Aldeia Mais Portuguesa de Portugal. Devido à relação de simbiose entre as edificações e o caos de blocos que dominam a paisagem, a aldeia é um ponto de interesse turístico.

A susceptibilidade da instabilização de blocos rochosos das encostas e do caos de blocos depende não só das condições geológico-geotécnicas do granito, como também do vigor do relevo que se observa na aldeia.

Esta dissertação tem assim como principal objectivo a análise da susceptibilidade de instabilização dos blocos rochosos e posteriormente uma avaliação preliminar do risco associado.

Numa fase inicial do trabalho, foi realizado trabalho de campo, com registo de parâmetros geotécnicos *in situ* de cada bloco rochoso; interpretação de fotografia aérea com o intuito de atestar ocorrência de quedas de blocos no passado; levantamento aerofotográfico com recurso a drone, providenciando um MDT, MDS e um ortomosaico da área de estudo; e a discriminação estatística dos blocos rochosos em termos do potencial de mobilidade estático (iniciação do movimento) e do potencial de mobilidade dinâmica (progressão do movimento). A susceptibilidade da instabilização traduz-se assim, com base na discriminação, na atribuição de uma classe de perigosidade (1, 2 ou 3) a cada bloco rochoso. A fase posterior ocupa-se da simulação da extensão de trajectórias com a intenção de avaliar quais os elementos expostos, constituindo uma avaliação preliminar do risco associado à queda de blocos rochosos.

O potencial de mobilidade estático poderá ser considerado um modo de avaliar a susceptibilidade à instabilização dos blocos rochosos (por tombamento e deslizamento), e o potencial de mobilidade dinâmico, poderá ser considerado um indicador da extensão na trajectória e também um indicador indirecto de risco potencial associado face aos elementos expostos (em função da localização do bloco).

De modo sucinto, foram registados 133 blocos rochosos, dispersos por quatro áreas distintas na aldeia. Da análise estática para tombamento e análise dinâmica, obteve-se 7 blocos rochosos como os mais problemáticos na área de estudo. Também com médio a elevado índice de perigosidade associado se obtiveram 33 blocos rochosos. Da análise estática para deslizamento e análise dinâmica, 19 blocos rochosos consideram-se como os mais problemáticos na área de estudo. Também com médio a elevado índice de perigosidade associado, se obtiveram 54 blocos rochosos.

Com base na previsão da extensão das trajectórias, realizada para alguns dos blocos rochosos com uma perigosidade associada média a elevada, constata-se que alguns dos elementos expostos da aldeia poderão se encontrar numa situação vulnerável. Estas simulações preliminares da extensão das trajectórias foram realizadas com recurso ao *Rocfall*, admitindo distintas condições de valor de ângulo de atrito e velocidade inicial.

Propõe-se como trabalhos futuros o desenvolvimento de estudos de pormenor relativamente à trajectória potencial dos blocos, e avaliação do risco associado. Propõe-se ainda o desenvolvimento de intervenções adequadas de monitorização e estabilização dos blocos rochosos que se venham a identificar como tendo associado um nível de risco elevado e médio.

É de salientar que a metodologia adoptada nesta dissertação poderá ser futuramente reproduzível em situações semelhantes, onde imperam relevos com caos de blocos.

Palavras Chave: *Inselberg*, Caos de Blocos, Aldeia de Monsanto, Instabilização Blocos, SIG, *RocFall*, Risco, Perigosidade

Abstract

The Monsanto Village, in the municipality of Idanha-a-Nova, district of Castelo Branco, is built on a granite inselberg. This village, which is part of the Naturtejo Geopark, also has two titles, namely the Historical Village and the Most Portuguese Village of Portugal. Due to the symbiotic relationship between urbanization and the boulders chaos that dominate the landscape, the village is a tourist point of interest.

The stability of slopes and boulders chaos depends not only on the geological-geotechnical conditions of the granite, but also on the slope of the village.

The main objective of this work is the analysis of the susceptibility of the occurrence of block movements and a preliminary assessment of the associated risk.

In an initial phase of the work, fieldwork was carried out, with recording of in situ geotechnical parameters of each block; interpretation of aerial photography in order to verify the occurrence of rockfalls in the past; landsurvey with drone; and statistical discrimination of the rocks in terms of the static potential (initiation of movement) and mobility potential (progression of movement). The susceptibility of the occurrence of block movements, translate into the assignment of a hazard class (1, 2 or 3). The posterior phase deals with the simulation of the trajectory extension.

Static mobility potential could be considered as a way of assessing susceptibility to block instabilities (by tipping and sliding), and the dynamic mobility potential could be considered as an indicator of the extend trajectory and also an indirect indicator of potential risk.

Briefly, 133 blocks were scattered across four distinct areas in the village. From the static analysis for tipping and dynamic analysis, 7 rock blocks were obtained as the most problematic in the study area. Also, with medium to high index of associated danger were obtained 33 blocks. From the static analysis for sliding and dynamic analysis, 19 blocks are considered as the most problematic in the study area. Also, with medium to high index of associated danger, 54 blocks were obtained.

From the evaluation of the trajectory extension carried out for some of the rock blocks with a medium to high associated danger, it is found that some of the exposed elements of the village may be in a vulnerable situation. These preliminary simulations of the block trajectories were carried out using *Rocfall*, in different conditions of friction angle and initial velocity.

As future work, it is proposed to develop detailed studies on the prediction of block trajectories and respective risk assessment. In addition, it is proposed to develop monitoring and stabilization measures for the rock blocks that are found to have a high associated risk.

It should be pointed out the methodology adopted in this dissertation may be applied in similar situations, where block chaos occur.

Key Words: *Inselberg*, Boulders Chaos, Monsanto Village, Block Instability, SIG, RocFall, Risk, Danger

Índice

| | |
|--|-----------|
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Enquadramento | 1 |
| 1.2. Objectivos e Metodologia | 2 |
| 1.3. Organização da Dissertação | 3 |
| 2. Estado da Arte | 4 |
| 2.1. Conceitos | 4 |
| 2.2. Maciço Rochoso | 4 |
| 2.3. Tipos de Rotura em Maciço Rochoso | 6 |
| 2.4. Resistência ao Corte de Descontinuidades | 8 |
| 2.5. Descrição da Trajectória de um bloco em movimento | 12 |
| 2.6. Métodos de Análise Aplicados em Casos Semelhantes | 14 |
| 2.6.1. Sintra, Portugal | 14 |
| 2.6.2. Galiza, Espanha | 17 |
| 3. Caso de Estudo – Aldeia de Monsanto | 19 |
| 3.1. Enquadramento Geográfico | 19 |
| 3.2. Enquadramento Geológico e Geomorfológico | 21 |
| 3.3. Histórico de Movimentos | 24 |
| 3.4. Trabalhos Anteriormente Realizados na Aldeia | 31 |
| 3.5. Metodologia | 33 |
| 3.5.1. Trabalho de Campo | 33 |
| 3.5.2. Fotografia Aérea | 38 |
| 3.5.3. Levantamento Aerofotográfico | 38 |
| 3.5.4. Discriminação dos Blocos Rochosos | 39 |
| 4. Resultados e Discussão | 43 |
| 4.1. Trabalho de Campo | 44 |
| 4.2. Fotografia Aérea | 46 |
| 4.3. Levantamento Aerofotográfico | 48 |
| 4.4. Discriminação dos Blocos Rochosos | 51 |
| 5. Análise de Trajectórias | 56 |
| 5.1. Método de Análise | 56 |
| 5.2. Selecção dos Blocos Rochosos | 60 |
| 5.3. Resultados e Discussão | 61 |
| 6. Considerações Finais | 66 |
| 6.1. Propostas de Trabalhos Futuros | 68 |
| 7. Referências Bibliográficas | 69 |
| 8. Anexos | 72 |

Índice de Figuras

| | |
|--|--------------|
| Figura 2.1 - Transição de rocha intacta para maciço rochoso fracturado e representação simplificada da influência da escala (adaptado de Hoek, 1983) | 5 |
| Figura 2.2 - Rotura Circular (adaptado de Hudson e Harrison, 1997) | 6 |
| Figura 2.3 - Rotura Planar (adaptado de Hudson e Harrison, 1997) | 6 |
| Figura 2.4 - Rotura em Cunha (adaptado de Hudson e Harrison, 1997) | 7 |
| Figura 2.5 - Rotura por Tombamento (adaptado de Hudson e Harrison, 1997) | 7 |
| Figura 2.6 - Iniciação do movimento de um bloco rochoso instável num plano inclinado (Hoek e Bray, 1977) | 8 |
| Figura 2.7 - Dureza de Schmidt em superfícies intactas e secas (R) (adaptado de Barton e Choubey, 1977) | 10 |
| Figura 2.8 - Perfis de Comparação de Rugosidade (Barton e Choubey, 1977) | 11 |
| Figura 2.9 - Ábaco para a Resistência à Compressão Uniaxial (Deere e Miller, 1966) | 12 |
| Figura 2.10 - Tipos de progressão de movimento relativamente ao gradiente médio de inclinação (adaptado de Dorren 2003) | 13 |
| Figura 2.11 - Rugosidade e Comprimento do Perfil (adaptado de Hoek, E., 2007) | Erro! |
| Marcador não definido. | |
| Figura 2.12 - Carta de risco com trajectórias simuladas segundo o cenário realista (Almeida, 2003) | 17 |
| Figura 2.13 - Perfil do Penedo da Sobreira obtido por técnica de varrimento a laser (Alejano et al., 2010) | 18 |
| Figura 3.1 - Enquadramento Geográfico da Aldeia de Monsanto, Idanha-a-Nova, Castelo Branco fonte: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community | 19 |
| Figura 3.2 - Excerto da Carta Topográfica de Portugal, à escala 1/25 000 | 20 |
| Figura 3.3 - Enquadramento Geológico de Monsanto, na zona centro-sul do Plutão de Penamacor-Monsanto fonte: WMS LNEG Carta Geológica de Portugal 1/500 000; Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community | 21 |
| Figura 3.4 - Enquadramento Geomorfológico. (a) Limite e Curvas de Nível com equidistância de 1 metro; (b) Carta de Elevação, em metros; (c) Carta de Declives, em graus; (c) Carta da Direcção de Inclinação do Declive fonte: DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community | 23 |
| Figura 3.5 - Localização Histórico de Movimento fonte Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community | 25 |
| Figura 3.6 - Bloco fragmentado junto aos Penedos Juntos de Baixo | 26 |
| Figura 3.7 - Blocos caídos de movimentos antigos | 27 |
| Figura 3.8 - Bloco caído de movimento recente | 27 |
| Figura 3.9 – Fracturação e Alteração no maciço rochoso | 27 |
| Figura 3.10 - Bloco instável com testemunhos de gesso para monitorização, à entrada da habitação | 28 |
| Figura 3.11 - Queda de material rochoso no interior da habitação | 29 |
| Figura 3.12 - Queda de bloco recente, nas traseiras da habitação | 29 |
| Figura 3.13 - (a) bloco caído no ano de 2014, na Rua do castelo nº15; (b) Muro de contenção em betão (à esquerda) e testemunhos em gesso para monitorização (à direita) | 30 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.14 - Fracturação de blocos rochosos pela abertura completa de diaclases subverticais | 31 |
| Figura 3.15 - Processo de formação de blocos rochosos devido a diaclases subhorizontais e subverticais. À esquerda junto à entrada do Castelo e à direita no caminho de acesso aos Penedos Juntos | 31 |
| Figura 3.16 - Folha de registo para trabalho de campo | 37 |
| Figura 4.1 - Localização dos 133 blocos rochosos registados e indicação das respectivas quatro áreas..... | 45 |
| Figura 4.2 - Análise de fotografia aérea 1965 e 2004, respectivamente. A vermelho o Penedo do Meio Dia, a laranja os Penedos Juntos de Cima e a amarelo os Penedos Juntos de Baixo | 46 |
| Figura 4.3 - Análise de fotografia aérea 2004 e 2015, respectivamente. A vermelho o Penedo do Meio Dia, a laranja os Penedos Juntos de Cima e a amarelo os Penedos Juntos de Baixo | 47 |
| Figura 4.4 - Fotografias Aéreas, a vermelho a limitação do inselberg e a amarelo a área de estudo. (a) 1965; (b) 2004; (c) 2015..... | 48 |
| Figura 4.5 – Planos de voo realizados..... | 49 |
| Figura 4.6 - Número de imagens sobrepostas por pixel, para a construção do Ortomosaico | 50 |
| Figura 4.7 - Ortomosaico final | 51 |
| Figura 4.8 - Combinação do Índice de Perigosidade para a análise estática por tombamento e análise dinâmica | 53 |
| Figura 4.9 - Combinação do Índice de Perigosidade para a análise estática por deslizamento e análise dinâmica | 55 |
| Figura 5.1 - Alcances Máximos | 62 |
| Figura 6.1 - Síntese discriminação de blocos rochosos..... | 67 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 - Ângulo de Atrito Base para várias rochas (adpatdo de Barton e Choubey, 1977) ... | 9 |
| Tabela 3.1 – Dimensões segundos os três eixos perpendiculares..... | 34 |
| Tabela 3.2 - Classificação e Atribuição do Arredondamento do bloco..... | 35 |
| Tabela 3.3 - Classificação e Atribuição da Posição do Centro de Massa do bloco | 35 |
| Tabela 3.4 - Inclinação da Base de Suporte | 35 |
| Tabela 3.5 - Classificação e Atribuição do Grau de Alteração do bloco (ISRM, 1981) | 35 |
| Tabela 3.6 - Classificação e Atribuição do valor de JRC do bloco | 36 |
| Tabela 3.7 – Classificação e Atribuição da Área de Contacto | 36 |
| Tabela 3.8 - Classificação e Atribuição do Enraizamento/Enterramento do bloco | 36 |
| Tabela 3.9 - Classificação e Atribuição do Efeito de Carga do bloco..... | 37 |
| Tabela 3.10 - Parâmetros de Análise Estática e Análise Dinâmica..... | 39 |
| Tabela 3.11 – Matriz para atribuição de classe de potencial de iniciação do movimento por deslizamento, tendo em conta a inclinação da base e a classe de resistência disponível na base | 41 |
| Tabela 3.12 - Resistência à compressão uniaxial em MPa (adaptado de Rocha, 2013)..... | 43 |
| Tabela 4.1 - Detalhes de processamento de dados | 49 |
| Tabela 4.2 - Classificação ascendente hierárquica dos blocos rochosos em situação estática e dinâmica | 52 |
| Tabela 4.3 - Discriminação dos blocos rochosos em termos de análise estática para tombamento e análise dinâmica | 52 |
| Tabela 4.4 - Discriminação dos blocos rochosos em termos de análise estática para deslizamento e análise dinâmica | 54 |
| Tabela 5.1 - Escala de velocidades para movimentos de terreno (adaptado de Cruden e Varnes, 1996) | 59 |
| Tabela 5.2 - Síntese de resultados proveniente da simulação em RocFall, com velocidade inicial 5 m/s | 61 |
| Tabela 5.3 - Síntese de resultados provenientes da simulação em RocFall, com velocidade inicial 2 m/s e 5 m/s | 61 |

Abreviaturas

CAH – Classificação Ascendente Hierárquica

CXG/GB – Complexo Xisto-Grauváquico/Grupo das Beiras

DEGGE – Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia

DGPS – GPS Diferencial

DGT – Direcção-Geral do Território

ESRI - *Environmental Systems Research Institute*

FCUL – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

GNR – Guarda Nacional Republicana

GSI – *Geological Strength Index*

ISRM – *International Society for Rock Mechanics*

IST – Instituto Superior Técnico

JRC – *Joint Roughness Coefficient*

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelo Digital de Terreno

MI – Maciço Ibérico

RMR – *Rock Mass Rating System*

RMS – *Root Mean Square*

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

UNESCO - *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*

ZCI – Zona Centro-Ibérica

Símbolos

% - Por cento

< - Menor

> - Maior

\approx - Aproximadamente igual

\leq - Menor ou igual

\geq - Maior ou igual

b – Dimensão do bloco

cm – Centímetro

E – Este

h – Altura do bloco

i - inclinação

km – Quilómetro

kN – Kilo Newton

m – Metro

Ma – Milhões de Anos

MPa – Mega Pascal

N – Norte

S – Sul

\tan – Tangente

V - Volume

W – Oeste

X – Dimensão segundo a direcção

Y – Dimensão segundo a inclinação

Z – Dimensão segundo a altura

ψ - Inclinação em graus do Plano Inclinado

φ - Ângulo de Atrito

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A Aldeia de Monsanto encontra-se enraizada num *inselberg* granítico, onde predomina na paisagem a presença de caos de blocos. Estes blocos rochosos soltos são uma constante, tanto nas encostas como no interior da aldeia, servindo em alguns casos de tectos e paredes de habitações.

A Aldeia de Monsanto é reconhecida por ser a aldeia “mais portuguesa de Portugal”, uma das aldeias históricas do país. Esta condição, aliada ao seu Património Geomorfológico e às estratégias de valorização e divulgação pelo Geopark Naturtejo da Meseta Meridional onde se insere, permitem que a aldeia subsista sobretudo do geoturismo. Assim, estes blocos rochosos tão atractivos do ponto de vista visual poderão, contudo, constituir um risco para a população (local ou turistas), habitações e veículos que se encontrem na sua trajectória de movimento, em caso de instabilização.

Os blocos são de grandes dimensões e preferencialmente arredondados, de características mecânicas deficientes que, combinados com o relevo vigoroso e declive acentuado, representam uma susceptibilidade significativa à ocorrência de movimentos. Estes movimentos podem ser desencadeados por factores intrínsecos de cada bloco, tais como, factores geológicos e geotécnicos, relacionados com a história geológica do maciço rochoso e factores externos, nomeadamente, factores climáticos, movimentos tectónicos, acções antrópicas, etc.

Em função da inclinação da base que apoia o bloco, do seu centro de massa e da geometria do bloco, a iniciação do movimento poderá dar-se por queda de blocos, tombamento ou deslizamento ao longo das superfícies de descontinuidade. Já a progressão desse movimento ocorre por rolamento, saltação ou queda livre, dependendo da geometria do talude e do arredondamento do bloco.

Como tal, o estudo da susceptibilidade de ocorrência de movimentos de blocos e risco associado está relacionado com a segurança e ocupação urbana nas encostas potencialmente ameaçadas. Os demais trabalhos realizados neste contexto têm como finalidade a análise dos locais críticos, de modo a fornecer os elementos necessários para estabelecer medidas que visem evitar possíveis acidentes ou minimizar os seus efeitos.

A imprevisibilidade da frequência e magnitude da queda de blocos pode colocar em risco vidas humanas e infra-estruturas. Segundo Dorren (2003), a queda de blocos é um processo geomorfológico natural que ocorre, fundamentalmente, em encostas muito declivosas com blocos de grandes dimensões e em situação de instabilidade, influenciados por factores geológicos e climáticos. Para proteger os elementos expostos, tais como as áreas residenciais e de infra-estruturas, é necessário avaliar o risco apresentado pela queda dos blocos.

Face a esta problemática, o objectivo principal desta dissertação é a análise da susceptibilidade de ocorrência de movimento de blocos e estimativa da extensão das suas trajectórias, o que numa fase inicial é avaliado de uma forma estatística com base no cálculo do potencial de mobilidade estático e do potencial de mobilidade dinâmico de cada bloco, respectivamente. Na fase posterior, é realizada uma breve avaliação do risco associado, tendo em conta a extensão das trajectórias simuladas.

Para a concretização do objectivo, procedeu-se ao registo de características *in situ* de cada bloco, levantamento aerofotográfico com recurso a drone, interpretação de fotografia aérea e posterior análise estatística multivariada dos dados recolhidos no campo. Finalizada a discriminação do potencial de mobilidade estático e dinâmico de cada bloco rochoso, procedeu-se à avaliação da progressão do movimento dos blocos com maior susceptibilidade de instabilização, com recurso ao *software RocFall 6.0*.

1.2. Objectivos e Metodologia

Esta dissertação focou-se na análise da susceptibilidade de instabilização do caos de blocos graníticos predominantes na aldeia e na avaliação de risco. O objetivo principal do trabalho é a discriminação de cada bloco rochoso em termos do seu potencial de mobilidade estático e do seu potencial de mobilidade dinâmico. O potencial de mobilidade estático traduz de forma qualitativa a susceptibilidade do bloco entrar em movimento, sendo considerados dois modos de rotura possíveis: deslizamento e tombamento. O potencial de mobilidade dinâmico traduz de forma qualitativa a extensão da trajectória do bloco após este entrar em movimento, podendo ser visto como indicador de risco potencial. De forma a complementar o objectivo principal, procedeu-se à estimativa da extensão das trajectórias quando iniciado o movimento dos blocos rochosos. Deste modo, a dissertação contempla assim duas etapas de trabalho, a análise da estabilidade dos blocos rochosos e a avaliação da progressão do movimento.

Inicialmente foi realizado um intenso trabalho de campo, crucial e de extrema importância nesta dissertação, uma vez que incluiu um registo de parâmetros geológicos e geotécnicos para cada bloco rochoso *in situ*. Para além disso, permitiu proceder ao reconhecimento geral da área de estudo, com delimitação das zonas possivelmente mais vulneráveis, das ruas e habitações e principais pontos de atração turística. Os parâmetros registados são de natureza qualitativa e quantitativa, codificados em três classes de perigosidade (baixo, intermédio e elevado). Estes parâmetros permitiram posteriormente proceder à análise estatística multivariada que classifica cada bloco rochoso em uma das três classes de grau de perigosidade, em termos de potencial de mobilidade estática e potencial de mobilidade dinâmica.

Além do exaustivo trabalho de campo, foram interpretadas fotografias aéreas e efectuado um levantamento aerofotográfico com recurso a drone. Foram confrontadas fotografias aéreas de três datas distintas, com o propósito de atestar a ocorrência de movimentações de blocos no passado, devido à inexistência de um inventário de movimentos. O levantamento com drone foi sem dúvida um processo vantajoso que possibilitou a visualização com clareza e maior pormenor de toda a área de intervenção, impossível apenas através do trabalho de campo, através do ortomosaico resultante. Nomeadamente, a distribuição dos blocos rochosos pela aldeia, locais críticos, blocos rochosos amontoados, *etc.*

Finalizando a primeira etapa, obteve-se o potencial de iniciação do movimento (mobilidade estática) e da progressão do movimento (mobilidade dinâmica) de cada bloco rochoso, um inventário de todos os blocos rochosos registados no campo, e a localização dos mesmos no ortomosaico em ambiente SIG, através do *software ArcMap 10.6.1* da *ESRI*.

A segunda etapa, que complementa a fase anterior, avaliou a progressão do movimento de blocos rochosos ao longo da encosta fazendo uso do *software RocFall 6.0* da *RocScience*. Apenas alguns dos blocos rochosos que apresentaram uma combinação de potencial estático e dinâmico médio e elevado de perigosidade são tidos em conta nesta análise. Este programa permite a previsão da trajectória e o alcance tomado de um bloco em movimento ao longo de um perfil topográfico pré-definido, admitindo a ocorrência de saltação e rolamento.

1.3. Organização da Dissertação

A presente dissertação encontra-se organizada em **6** capítulos. Nos seguintes parágrafos apresenta-se uma breve descrição do que consta em cada um deles.

O primeiro capítulo, **Introdução**, começa por enquadrar a problemática e o tema deste trabalho. Os objectivos são expostos e a metodologia adoptada ao longo do trabalho é introduzida.

O segundo capítulo, **Estado da Arte**, começa por abordar alguns conceitos sobre avaliação de risco e apresenta uma revisão bibliográfica sobre o conceito de maciço rochoso, os tipos de rotura em maciços rochosos, a resistência ao corte de descontinuidades e a descrição da trajectória de um bloco em movimento. São ainda apresentados dois casos de estudo análogos ao tema desta dissertação.

O terceiro capítulo, **Caso de Estudo**, tem início com o enquadramento geográfico e geológico e geomorfológico da Aldeia de Monsanto e uma breve descrição do histórico de movimentos de blocos rochosos relatados por habitantes locais. São também discutidos trabalhos anteriormente realizados na aldeia, que compreende objectivos, metodologia, conclusões e algumas propostas de intervenções de estabilização. Posteriormente, é explicada toda a metodologia adoptada relativa ao desenvolvimento do trabalho. Nomeadamente a fase de trabalho de campo e a descrição dos parâmetros inventariados, a análise de fotografia aérea, o levantamento com drone e análise estatística multivariada. A análise estatística é diferenciada para a análise estática, por tombamento e deslizamento, e para a análise dinâmica.

No quarto capítulo, **Discussão de Resultados**, são discutidos todos os resultados obtidos desde a fase inicial do trabalho até à discriminação do potencial de iniciação do movimento e potencial de progressão do movimento para cada bloco rochoso.

O quinto capítulo, **Análise da Trajectória de Blocos em Movimento**, apresenta a simulação da trajectória de alguns blocos rochosos ao longo de um perfil topográfico pré-definido, através do *software RocFall 6.0*.

O sexto e último capítulo deste trabalho, **Considerações Finais**, apresenta uma síntese de todo o trabalho realizado e um conjunto de considerações finais. São também apresentadas algumas propostas de trabalhos futuros tendo em vista a elaboração de uma carta de risco e o desenvolvimento de propostas de monitorização e estabilização adequadas.

2. Estado da Arte

2.1. Conceitos

Dados os objectivos desta dissertação considera-se pertinente introduzir alguns conceitos associados aos processos de análise e avaliação de risco. As seguintes definições são apresentadas tal com constam no Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica de Base Municipal (2009):

Perigo – Processo (ou acção) natural, tecnológico ou misto susceptível de produzir perdas e danos identificados;

Susceptibilidade – Incidência espacial do perigo. Representa a propensão para uma área afectada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos factores de predisposição para a ocorrência dos processos ou acções, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência;

Perigosidade ou Probabilidade de Perigo – Probabilidades de ocorrência de um processo ou acção (natural, tecnológico ou misto) com potencial destruidor (ou para provocar danos) com uma determinada severidade, numa dada área e num dado período de tempo;

Exposição, Elementos Expostos, Elementos em Risco – População, propriedades, estruturas, infra-estruturas, actividades económicas, etc., expostos (potencialmente afectáveis) a um processo perigoso natural, tecnológico ou misto, num determinado território.

Vulnerabilidade – Grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, em resultado da ocorrência de um processo (ou acção) natural, tecnológico ou misto de determinada severidade.

Risco – Probabilidade de ocorrência de um processo (ou acção) perigoso e respectiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, directos ou indirectos.

Num contexto diário em que os riscos naturais e tecnológicos condicionam a segurança, a qualidade do ambiente e a vida das populações, a identificação e o conhecimento detalhado desses riscos são procedimentos fundamentais para a adopção de medidas adequadas de eliminação ou mitigação. A identificação, a caracterização e a avaliação metódica dos riscos (naturais, tecnológicos e mistos) condicionam a segurança das comunidades e são imprescindíveis no adequado desenvolvimento dos procedimentos de planeamento de emergência e de ordenamento do território.

2.2. Maciço Rochoso

A determinação do comportamento geomecânico de maciços rochosos é fundamental para a análise da estabilidade de taludes, escavações subterrâneas ou outros propósitos de engenharia.

O maciço rochoso é uma entidade natural, constituída por blocos de material rocha justapostos e articulados por um sistema de descontinuidades, que podem estar ou não preenchidos por outros materiais (Hoek, 1983). É um meio descontínuo, heterogéneo e anisótropo. Em função do efeito de escala, um maciço rochoso apresenta diversos graus de alteração e fracturação e as características diferem de local para local, em função da história geológica.

Por material rocha entende-se rocha intacta que se encontra entre as superfícies de compartimentação do maciço rochoso, isto é, as discontinuidades (Hoek, 1983; Brady e Brown, 2005). Uma discontinuidade é uma qualquer entidade geológica que interrompe a continuidade física do maciço rochoso, tal como, falhas, diaclases, contactos geológicos, estratificação e xistosidade (Hoek, 1983). As discontinuidades funcionam como superfícies de fraqueza, que separam os blocos de rocha intacta, caracterizados por uma resistência à tracção baixa (Hudson e Harrison, 1997).

Segundo Hudson e Harrison (1997), as discontinuidades podem ser o factor mais importante na estabilidade e comportamento de um maciço rochoso fracturado, uma vez que condicionam a permeabilidade, a deformabilidade e a resistência ao corte do maciço rochoso e, por conseguinte, determinam o seu comportamento físico e mecânico.

A anisotropia dos maciços rochosos provém da anisotropia da rocha e das famílias de discontinuidades existentes (Rocha, 2013). Mesmo em maciços rochosos constituídos por rocha de elevada resistência, as superfícies de discontinuidades apresentam uma muito baixa resistência ao corte, provocando as roturas em maciços rochosos.

Quando o maciço se encontra intacto, de forma simplificada, na análise de estruturas de engenharia comuns, o seu comportamento pode ser assemelhado a um meio contínuo, homogéneo, isotrópico e elástico. No caso do maciço rochoso se apresentar francamente fraturado, com um elevado número de discontinuidades com diferentes direcções, o maciço pode igualmente ser considerado a um meio contínuo, homogéneo e isotrópico, mas agora com resistência finita. Neste último caso, os mecanismos de rotura potenciais implicam a rotura pelo maciço (rocha e discontinuidades) e as características mecânicas do maciço dependem das características da rocha e das discontinuidades.

Quando o maciço apresenta poucas famílias de discontinuidades de atitudes bem definidas, o maciço é considerado como um meio heterogéneo, descontínuo e anisotrópico. Os mecanismos de rotura desenvolvem-se preferencialmente pelas discontinuidades existentes.

A **Figura 2.1** mostra o efeito de escala e a transição de uma rocha isotrópica intacta, para uma massa rochosa na qual a rotura é controlada por uma ou duas discontinuidades, a uma massa rochosa fortemente fraturada que para efeitos de cálculo pode ser considerada isotrópica. Segundo Rocha (2013), os maciços rochosos apresentam fracturas às mais diversas escalas, desde fracturas microscópicas dos cristais constituintes das rochas até às grandes falhas.

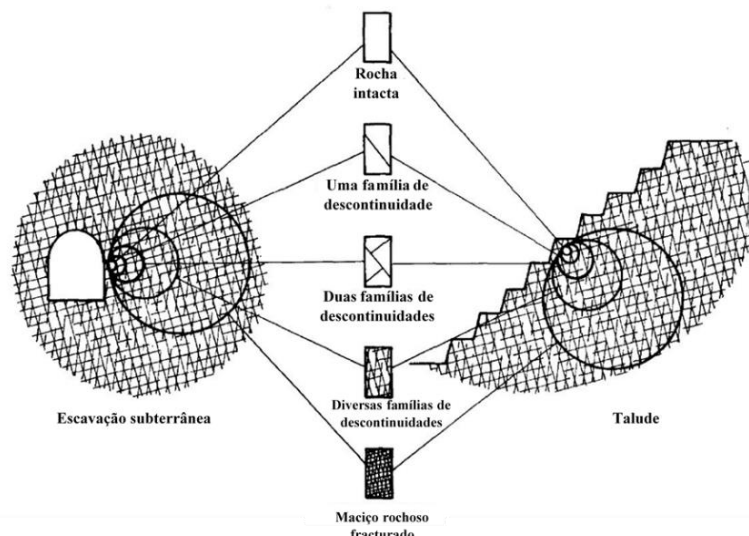


Figura 2.1 - Transição de rocha intacta para maciço rochoso fracturado e representação simplificada da influência da escala (adaptado de Hoek, 1983)

2.3. Tipos de Rotura em Maciço Rochoso

Os diferentes tipos de rotura são condicionados pelo grau de fracturação do maciço rochoso, pela atitude e distribuição das descontinuidades nele presentes, bem como pelo efeito de escala, tal como ilustrado na **Figura 2.1**.

Em maciços rochosos a rotura pode ocorrer de acordo com quatro mecanismos principais: circular, planar, em cunha e por basculamento.

A rotura circular ocorre em maciço rochoso cujo comportamento pode ser considerado isotrópico e contínuo, constituídos maioritariamente por rocha branda e elevado número de descontinuidades, em que os planos de rotura e o seu mecanismo são determinados pela matriz rochosa, sendo que as restantes roturas advêm do comportamento anisótropo e descontínuo, quando a instabilidade é ditada pela presença de descontinuidades.

- **Rotura Circular**

Tal como referido anteriormente, a rotura circular é verificada em maciços rochosos brandos e em maciços rochosos muito alterados ou com elevado nível de fracturação.

Nestas situações, o maciço rochoso é considerado isotrópico e o seu comportamento mecânico não é controlado pelos planos de descontinuidade, mas pela matriz rochosa. Desse modo, o comportamento do maciço rochoso assemelha-se ao comportamento de um solo (**Figura 2.2**).

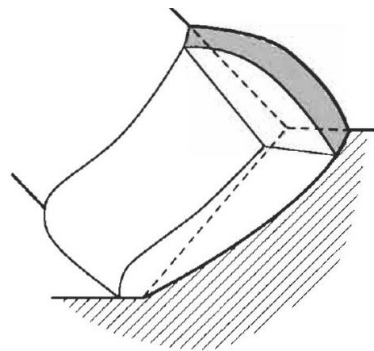


Figura 2.4 - Rotura Circular (adaptado de Hudson e Harrison, 1997)

- **Rotura Planar**

Este tipo de rotura ocorre geralmente ao longo de uma superfície de descontinuidade principal (**Figura 2.3**), em maciços rochosos com rochas de resistência média a alta.

A rotura planar é um deslizamento de massas rochosas ao longo de uma ou mais superfícies subparalelas entre si, ou seja, o plano de deslizamento e a inclinação do talude são subparalelos. Para que ocorra deslizamento, o ângulo de inclinação da superfície de descontinuidade ao longo da qual ocorre a rotura deve ser menor que o ângulo de inclinação da face do talude e maior que o ângulo de atrito interno.

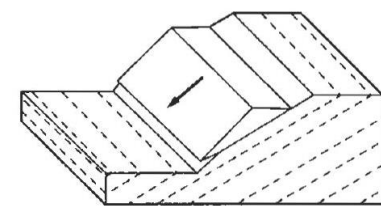


Figura 2.7 - Rotura Planar (adaptado de Hudson e Harrison, 1997)

Figura 2.8 - Rotura em Cunha (adaptado de Hudson e Harrison, 1997)
Figura 2.9 - Rotura Planar (adaptado de Hudson e Harrison, 1997)

• Rotura em Cunha

Este tipo de rotura verifica-se mais tipicamente em maciços rochosos em que existem várias famílias de descontinuidades muito bem definidas, semelhante à rotura planar, porém mais complexa.

A rotura em cunha consiste no deslizamento de um bloco resultante da intersecção de duas ou mais superfícies de descontinuidades (**Figura 2.4**), em maciços de rochas resistentes. A forma e o volume da cunha são determinados pelas atitudes e espaçamentos das descontinuidades.

Para que haja rotura em cunha a linha de intersecção dos dois planos de descontinuidades deve aflorar à superfície do talude, e adicionalmente devem verificar-se as condições para a ocorrência de rotura planar. Isto é, o ângulo de inclinação da superfície de descontinuidade ao longo da qual ocorre a rotura deve ser menor que o ângulo de inclinação da face do talude e maior que o ângulo de atrito interno.

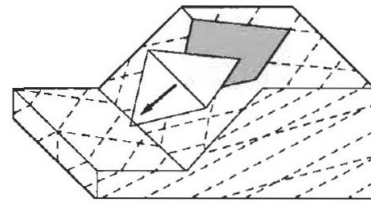


Figura 2.10 - Rotura em Cunha
(adaptado de Hudson e Harrison, 1997)

Figura 2.11 - Rotura por Tombamento
(adaptado de Hudson e Harrison, 1997)
Figura 2.12 - Rotura em Cunha
(adaptado de Hudson e Harrison, 1997)

• Rotura por Tombamento

A rotura por tombamento ocorre frequentemente em taludes abruptos de maciços rochosos em que as descontinuidades possuam um pendor muito acentuado, provocando a rotura por perda de equilíbrio (**Figura 2.5**).

Os planos de descontinuidades apresentam pendor contrário ao do talude e direcção paralela ou subparalelas ao mesmo. De uma forma geral, os blocos apresentam-se individualizados por duas famílias de descontinuidades ortogonais e a rotura envolve um movimento de rotação dos blocos.

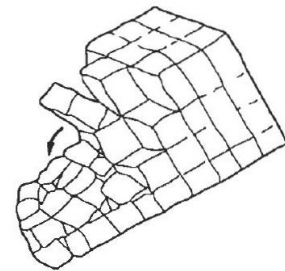


Figura 2.13 - Rotura por Tombamento
(adaptado de Hudson e Harrison, 1997)

O tipo de mecanismo de rotura que se verifica para um determinado bloco rochoso depende da geometria do bloco, da inclinação do plano onde este se situa e do ângulo de atrito, podendo ocorrer por tombamento, deslizamento ou um processo misto.

Como tal, a **Figura 2.6** ilustra o movimento de um bloco apoiado sobre um plano inclinado, e as possíveis condições de iniciação de movimento, em que h é a altura do bloco, b é a dimensão do bloco segundo a inclinação, ψ é a inclinação em graus do plano e ϕ ao ângulo de atrito (que na **Figura 2.6** se admite igual a 35°). Consta-se que:

- quando $\psi < \phi$ e $b/h > \tan \psi$, o bloco encontra-se **estável** e não ocorre qualquer iniciação do movimento, nem por deslizamento nem por tombamento;

- quando $\psi < \phi$ e $b/h < \tan \psi$, o bloco inicia o seu movimento apenas por **tombamento**;

Figura 2.14 - Iniciação do movimento de um bloco rochoso instável num plano inclinado (Hoek e Bray, 1977)
Figura 2.15 - Rotura por Tombamento (adaptado de Hudson e Harrison, 1997)

- quando $\psi > \phi$ e $b/h > \tan \phi$, depois de ultrapassado o limite $\psi = \phi$, o bloco inicia o seu movimento apenas por **deslizamento**;

- quando $\psi > \phi$ e $b/h < \tan \phi$, depois de ultrapassado o limite $\psi = \phi$, o bloco tem iniciação por um mecanismo **misto**, ou seja, deslizamento e tombamento.

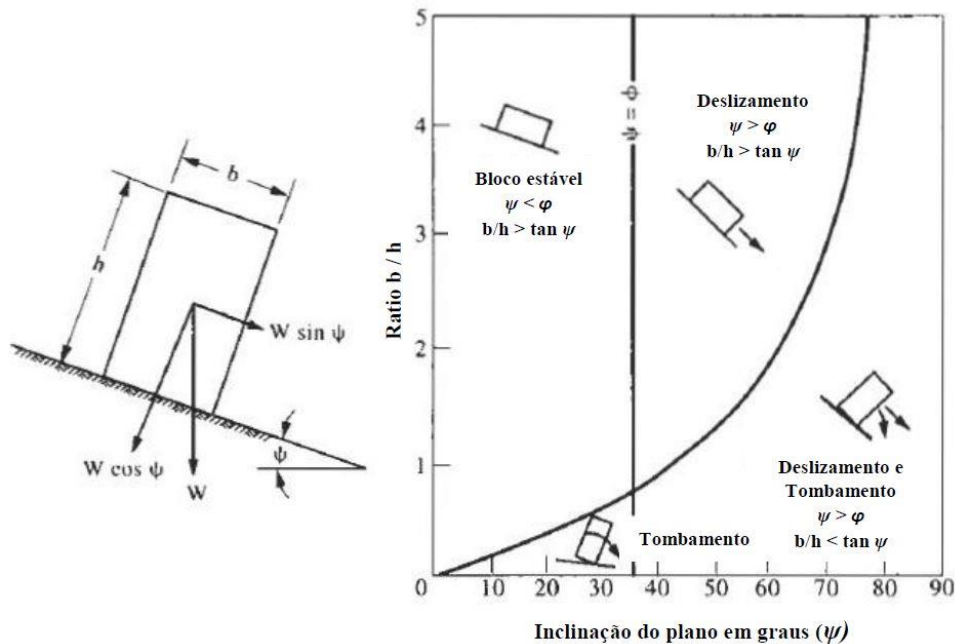


Figura 2.16 - Iniciação do movimento de um bloco rochoso instável num plano inclinado (Hoek e Bray, 1977)

Quanto maior for a inclinação do plano (ψ) mais favoráveis são as condições para que haja iniciação do movimento por deslizamento. Por outro lado, quanto menor for a relação (b/h), maior será a altura do bloco comparativamente à sua dimensão segundo a inclinação, e nesse caso, mais provável a ocorrência de iniciação do movimento por tombamento.

2.4. Resistência ao Corte de Descontinuidades

A resistência de um maciço rochoso alterado depende da resistência da rocha intacta e das suas superfícies de descontinuidades, abordado anteriormente. À superfície ou a profundidades reduzidas, onde as tensões são baixas, o comportamento das massas rochosas é frequentemente controlado pelas características das descontinuidades. Por conseguinte, para a análise da estabilidade dos blocos rochosos é necessário compreender quais os factores que controlam a resistência ao corte das descontinuidades que os separam (Hoek, 2007).

As descontinuidades podem se apresentar com ou sem preenchimento. A resistência ao corte de descontinuidades preenchidas depende fundamentalmente das propriedades físicas e mineralógicas do material constituinte que separa as superfícies das descontinuidades (Barton e Choubey, 1977). Por sua vez, a resistência ao corte de descontinuidades sem preenchimento depende da tensão normal efectiva e das propriedades que caracterizam a superfície da descontinuidade, tais como, tipo de rocha, rugosidade e grau de alteração. É para esta situação, descontinuidades sem preenchimento, que se irá tratar a resistência ao corte.

Segundo Barton e Choubey (1977), o efeito da rugosidade na resistência ao corte é mais pronunciado em situações onde a tensão normal efectiva é baixa e tenderá a ser mais importante

que outros factores. As superfícies das descontinuidades naturais nunca são perfeitamente lisas, antes pelo contrário, apresentam ondulações e asperidades. Esta particularidade natural tem influência significativa na resistência ao corte das descontinuidades uma vez que essa rugosidade superficial aumenta a resistência ao corte da superfície, devido à maior tensão de corte necessária aplicar para que ocorra o deslizamento. Este aumento de resistência tem especial importância no que concerne à estabilidade dos blocos rochosos.

Barton e Choubey (1977) propuseram uma relação empírica que pode ser usada para quantificar a resistência ao corte de descontinuidades. Essa relação é representada pela **Equação 2.1**:

$$\tau = \sigma_n \tan \left(\varphi_r + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right) \quad [2.1]$$

em que:

τ – resistência ao corte

σ_n – tensão normal efectiva

φ_r – ângulo de atrito residual

JRC – Joint Roughness Coefficient

JCS – Joint Wall Compressive Strength

Os parâmetros JRC (rugosidade), JCS (resistência à compressão uniaxial) e o ângulo de atrito residual (φ_r) podem ser facilmente obtidos no campo ou em laboratório.

Os mesmos autores sugerem que o ângulo de atrito residual pode ser obtido a partir da seguinte **Equação 2.2**.

$$\varphi_r = (\varphi_b - 20) + 20(r/R) \quad [2.2]$$

em que:

φ_r – ângulo de atrito residual

φ_b – ângulo de atrito base

r – ressalto do Martelo de Schmidt em condições naturais

R – ressalto do Martelo de Schmidt em condições intactas e secas

Quanto ao valor do ângulo de atrito base φ_b , recorre-se normalmente a valores tabelados, que se apresentam na **Tabela 2.1**.

Tabela 2.1 - Ângulo de Atrito Base para várias rochas (adaptado de Barton e Choubey, 1977)

| Tipo de Rocha | Condição | φ_b | Referência |
|---------------------------|----------|-------------|---------------|
| Granito de Gão Fino | Seco | 31 – 35 | Coulson, 1972 |
| | Molhado | 29 – 31 | |
| Granito de Grão Grosseiro | Seco | 31 – 35 | |
| | Molhado | 31 - 33 | |

No que diz respeito ao valor de R , Barton e Choubey (1977) testaram diversas superfícies secas para obtenção de valores de R em diferentes materiais rocha (**Figura 2.7**). Neste caso de estudo específico, assume-se que R toma um valor de 50.

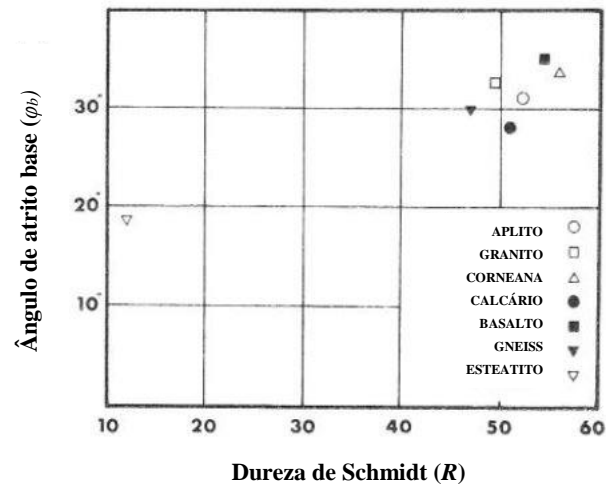


Figura 2.19 - Dureza de Schmidt em superfícies intactas e secas (R) (adpatdo de Barton e Choubey, 1977)

Figura 2.20 - Dureza de Schmidt em superfícies intactas e secas (R) (adpatdo de Barton e Choubey, 1977)

O parâmetro JRC pode ser estimado no campo através da comparação da superfície das paredes das descontinuidades com os perfis padrão representados na **Figura 2.8**.

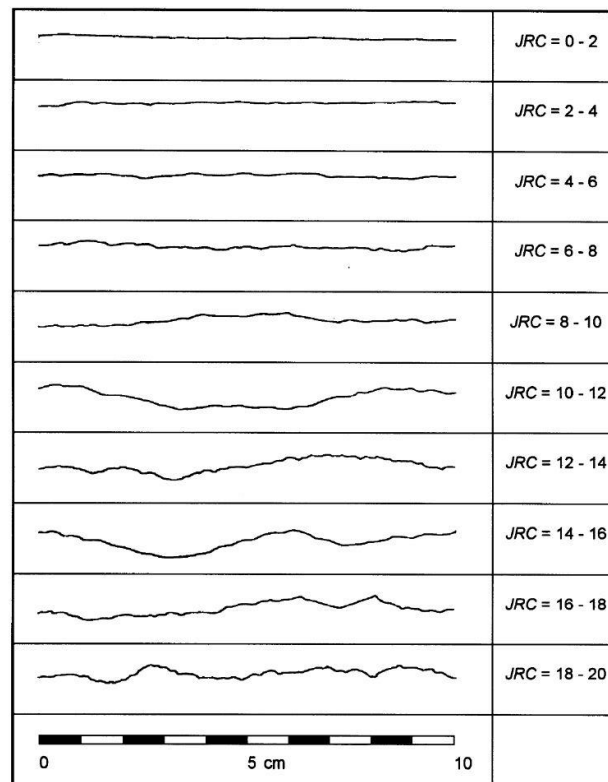


Figura 2.22 - Perfis de Comparação de Rugosidade (Barton e Choubey, 1977)

Figura 2.23 - Ábaco para a Resistência à Compressão Uniaxial (Deere e Miller, 1966) Figura 2.24 - Perfis de Comparação de Rugosidade (Barton e Choubey, 1977)

O parâmetro JCS pode ser obtido no campo a partir dos resultados do ressalto obtido pelo martelo de Schmidt, que permite estimar a resistência à compressão uniaxial por relação com o peso volúmico da rocha. Pode ser obtido através do ábaco de Deere e Miller (1966) (**Figura 2.9**) ou através da **Equação 2.3**, que se traduz numa relação aproximada do ábaco (Barton e Choubey, 1977).

$$\log_{10} JCS = 0,00088 \times \gamma \times r + 1,01 \quad [2.3]$$

em que:

γ – peso volúmico da rocha (kN/m^3)

r – ressalto do Martelo de Schmidt em condições naturais

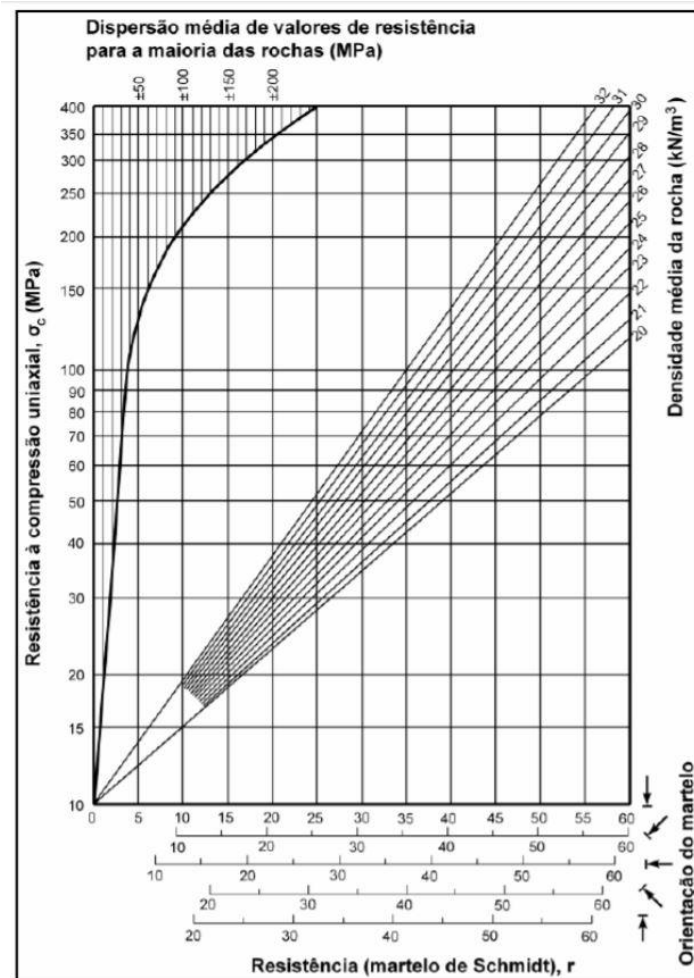


Figura 2.25 - Ábaco para a Resistência à Compressão Uniaxial (Deere e Miller, 1966)

Figura 2.26 - Tipos de progressão de movimento relativamente ao gradiente médio de inclinação (adaptado de Dorren 2003) Figura 2.27 - Ábaco para a Resistência à Compressão Uniaxial (Deere e Miller, 1966)

2.5. Descrição da Trajectória de um bloco em movimento

A queda de blocos é caracterizada por dois processos diferentes: o desprendimento de blocos na parte superior da encosta e sua propagação ao longo da parte inferior. A queda de blocos, definida por Varnes (1987), traduz-se no movimento de blocos ao longo de uma encosta, em consequência sobretudo da presença de descontinuidades. Os possíveis modos de progressão do movimento dependem fortemente da geometria e da inclinação da encosta (Ritchie, 1963) e envolvem queda livre, a saltação e o rolamento (Giani, 1992) (**Figura 2.10**).

A queda livre ocorre em encostas muito íngremes, quando a inclinação excede 70°. Segundo Dorren (2003) durante a queda livre de blocos ocorrem dois tipos de movimento: translação seguida de rotação do bloco em torno do seu centro de massa. Após a rotação, o bloco rochoso

poderá mudar a sua direcção a cada impacto. No que diz respeito ao atrito oferecido pelo ar, admite-se que não causa efeito significativo no movimento do bloco. Outro factor determinante na queda livre e na trajectória dos blocos rochosos é a colisão com outras rochas ou obstáculos.

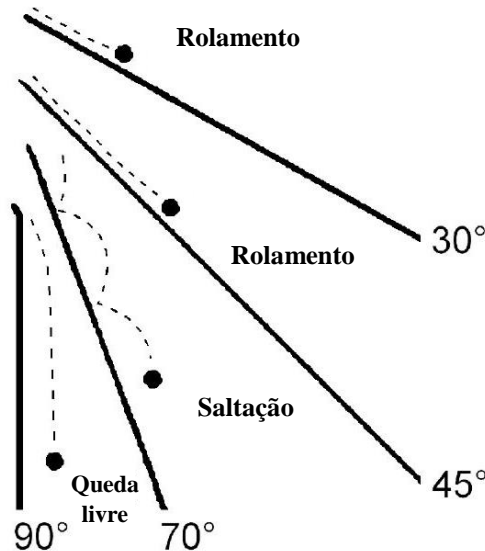


Figura 2.28 - Tipos de progressão de movimento relativamente ao gradiente médio de inclinação (adaptado de Dorren 2003)

(**Figura 2.29** - Tipos de progressão de movimento relativamente ao gradiente médio de inclinação ção, rola (adaptado de Dorren 2003)

A saltação ocorre quando inclinação varia entre 45 e 70°. Um bloco rochoso em queda livre, poderá converter o seu movimento para saltação quando a inclinação da encosta diminui. Os blocos rochosos mais brandos, após cada impacto com a superfície tendem a quebrar, perdendo desta forma energia e velocidade.

O rolamento ocorre quando a inclinação da encosta é inferior a 45°, e neste caso um bloco rochoso em saltação irá converter gradualmente o seu movimento para rolamento. Neste processo o bloco rochoso encontra-se quase sempre em contacto com a superfície da encosta. Uma vez que apenas as faces de maior dimensão contactam com a superfície, o centro de massa do bloco rochoso apresenta um trajecto aproximadamente recto.

O deslizamento ocorre sobre a superfície da encosta, no entanto, ocorre geralmente no início ou no fim da queda do bloco. Se a inclinação da encosta aumentar, o bloco em deslizamento irá começar a mover-se por queda livre, saltação ou rolamento. Se a inclinação não variar ao longo do trajeto de deslizamento, o bloco rochoso irá parar por perda de energia devido ao atrito.

A velocidade e a terminação do movimento dependem principalmente do gradiente da inclinação da encosta. Os blocos rochosos adquirem maior velocidade em encostas mais íngremes e por sua vez, perdem velocidade em encostas mais planas. Também a velocidade depende do tamanho do bloco rochoso e do material que cobre a encosta. Blocos rochosos de menores dimensões retardam mais facilmente o seu movimento comparativamente a blocos rochosos de maiores dimensões. Este facto deve-se a duas razões: a primeira devido à energia cinética, que em blocos de menores dimensões é menor comparativamente à energia cinética de blocos maiores; e segundo devido a possíveis obstáculos ou depressões. O fim do movimento só ocorre

quando a energia cinética é perdida por meio de colisões e forças de atrito que actuam no bloco rochoso durante o seu movimento.

A força de atrito de um bloco rochoso em movimento depende não só da sua forma como também das características da superfície da encosta. Segundo Dorren (2013) a força de atrito entre o bloco rochoso e a superfície da encosta pode ser caracterizada por um ângulo de atrito que se relaciona com a rugosidade da superfície do perfil, definido pela variação na altura perpendicular à inclinação dentro de uma determinada distância relativamente à superfície da encosta. A rugosidade de um perfil é traduzida pelos ângulos dessa rugosidade. Ou seja, é o ângulo entre a superfície rugosa e a inclinação do perfil (**Figura 2.11**). Segundo Wang e Lee (2010), o ângulo da rugosidade pode ser calculado através da **Equação 2.4**.

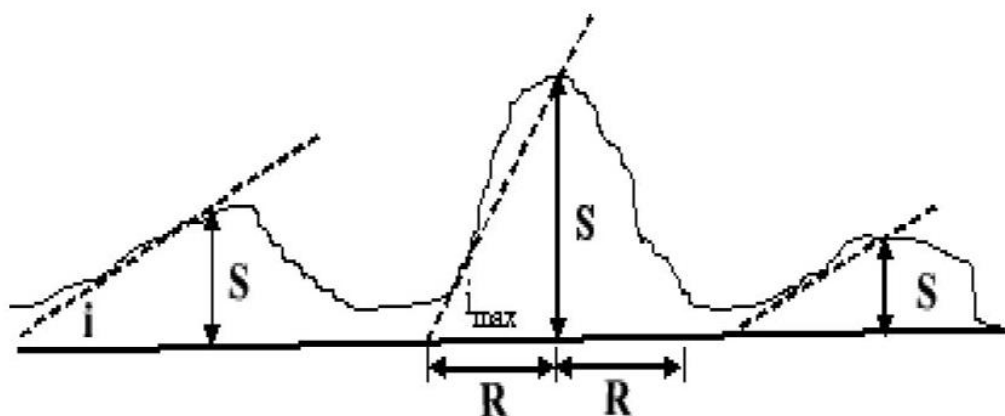


Figura 2.30 - Representação da Rugosidade do Perfil (adaptado de Wang e Lee, 2010)

Figura 2.31 - Carta de risco com trajectórias simuladas segundo o cenário realista (Almeida, 2003) **Figura 2.32** - Representação da Rugosidade do Perfil (adaptado de Wang e Lee, 2010)

$$i_{max} = \tan^{-1} \left(\frac{S}{R} \right) \quad [2.4]$$

em que:

i_{max} – ângulo máximo de rugosidade

S – altura do relevo

R – comprimento do perfil

2.6. Métodos de Análise Aplicados em Casos Semelhantes

2.6.1. Sintra, Portugal

A queda de um bloco de granito de grandes dimensões ($\sim 35 \text{ m}^2$) a 29 de Janeiro de 2002, na vertente Norte do Monte da Lua, Serra de Sintra, incentivou um caso de estudo conducente ao estabelecimento de uma carta de risco da área envolvente. Em conformidade com o que se verifica na Aldeia de Monsanto, também a Serra de Sintra é caracterizada por um denso caos de blocos.

O estudo envolveu várias fases de trabalho: 1) selecção dos parâmetros geotécnicos condicionantes da estabilidade dos blocos; 2) interpretação de fotografia aérea e levantamento de informação *in situ* dos blocos, com auxílio a GPS diferencial (DGPS); 3) discriminação dos blocos

face ao potencial de mobilidade estático e dinâmico; 4) simulação em planta das trajectórias possíveis para cada bloco, com base em algoritmos e Modelo Digital de Terreno (MDT); 5) elaboração de uma carta de risco, em função das trajectórias simuladas (Águas *et al.*, 2003).

Segundo Almeida *et al.*, (2003), a metodologia utilizada neste caso de estudo específico poderá ser reproduzível em situações similares, isto é, em relevos onde se verificam caos de blocos suscetíveis de desprendimento que possam afectar pessoas e bens. Deste modo, a mesma metodologia, ou em parte semelhante, será aplicada ao caso de estudo da Aldeia de Monsanto.

De acordo com Águas *et al.*, (2003), foram levantadas informações geotécnicas para cerca de 200 blocos, indicativos do potencial de iniciação de movimento e da sua progressão. Nesta primeira fase de estudo, no campo, foram recolhidos dados relativos a 10 parâmetros. Destes parâmetros, 5 dizem respeito ao potencial de iniciação do movimento (ponto de vista estático); 4 são relativos à possível extensão da trajectória (ponto de vista dinâmico) e 1 não foi considerado determinante para o movimento. Para cada um dos parâmetros foram ajustados três níveis distintos, em modo categórico ordinal (1, 2, 3): em que (1) significa maior estabilidade mecânica (“bom”) e (3) significa menor estabilidade mecânica (“mau”).

Parâmetros registados:

- | | |
|------------------------|----------------------|
| - Dimensão Estática; | - Grau de Alteração; |
| - Dimensão Dinâmica; | - Dureza de Schmidt; |
| - Volume; | - Enterramento; |
| - Arredondamento; | - Efeito de Carga; |
| - Centro de Gravidade; | - Vegetação. |

Após o registo dos parâmetros, foram calculados dois índices de perigosidade, respectivamente para o ponto de vista estático e dinâmico, a fim de discriminar os blocos com maior potencial de mobilidade (de iniciação e continuação do movimento). Almeida (2010) afirma que esta discriminação dos blocos constitui uma etapa fundamental na metodologia proposta, pois permite ponderar de forma diferencial as trajectórias dos blocos e priorizar as medidas de mitigação. O algoritmo utilizado para a discriminação foi baseado na medida de similitude *Jaccard Index*. Esta análise estatística permitiu identificar quais os blocos mais problemáticos do ponto de vista da execução da carta de risco geológico. Dos blocos cartografados, 34 foram classificados como similares ao arquétipo “mau”, quer em termos do potencial de mobilidade dinâmica quer do potencial de mobilidade estática.

De acordo com Almeida e Kullberg (2010), nenhum bloco foi classificado como “bom”, simultaneamente em termos do potencial de mobilidade estático e dinâmico. Um bloco foi classificado como “bom” no comportamento estático e sete foram classificados como “bom” no comportamento dinâmico. Mais de metade dos blocos (104) apresentaram comportamento estático e dinâmico “intermédio”, e estão distribuídos por toda a área que os autores estudaram. Seis blocos foram classificados como “mau” em ambos os comportamentos, estático e dinâmico, sendo estes os blocos mais problemáticos. Quatro blocos apresentaram classificação “mau” no que concerne ao comportamento estático e classificação “bom” quanto ao comportamento dinâmico; estes blocos mostram maior potencial de iniciação do movimento, contudo o movimento será pouco persistente. Setenta e um blocos foram classificados como “mau” quanto ao seu comportamento estático, independentemente do comportamento dinâmico; será expectável que estes possuam maior potencial de iniciação do movimento. Apenas quinze blocos foram classificados como “mau” para um comportamento dinâmico, independentemente do comportamento estático; ou seja, é expectável uma trajectória mais longa e encontram-se distribuídos por toda a área.

Os autores consideram que o movimento dos blocos se faz segundo dois tipos: rolamento e deslizamento. Segundo Almeida (2003), a queda livre complica significativamente os modelos das trajectórias e apenas foi considerada no caso de o terreno em causa evidenciar diferenças abruptas de declive.

A geometria do talude é o factor mais importante na definição da trajectória, seguido do tipo de cobertura na superfície do terreno. Os restantes factores, tais como, dimensão ou forma do bloco, não são menos importantes; porém, verifica-se uma dificuldade acrescida em introduzir a sua dependência nas trajectórias do movimento. A dificuldade surge em como calcular a diferença na trajectória de um bloco facetado e um bloco arredondado, tendo em conta que este último tem maior facilidade de rolar comparativamente ao primeiro.

Para simulação das trajectórias foi utilizado um modelo simplificado, que apenas considera o movimento de cada bloco ao longo da superfície do solo, por rolamento, ou seja, que depende apenas do coeficiente de atrito do bloco com o solo. O algoritmo implementado pelos autores é baseado numa abordagem por autómatos celulares que, neste caso, dependem da posição inicial do bloco, da resistência média ao movimento e do declive extraído do MDT. Foi utilizado o modelo estatístico Monte Carlo, que implementa a discretização do espaço e do tempo em unidades e com regras de transição probabilísticas, numa malha regular de células idênticas. O movimento do bloco entre as células é controlado pelo declive em cada local e pela velocidade do bloco atingida em cada célula, tendo sido desprezada a resistência ao ar. A velocidade do bloco aumenta se a inclinação do terreno for superior ao ângulo de atrito e diminui no caso contrário. Quando numa iteração a velocidade atinge o valor zero, a simulação da trajectória termina, o bloco parou. Assim sendo, as trajectórias em termos de direcção e extensão são dependentes do MDT e do ângulo de atrito. O ângulo de atrito foi obtido a partir da retroanálise da trajectória do bloco registada em 29 de Janeiro de 2002 com base na simulação de 1000 trajectórias equiprováveis para vários ângulos de atrito potencialmente realistas. Desta operação, os autores obtiveram um valor de $21,5^\circ$, que corresponde ao valor que melhor descreveu as trajectórias simuladas.

Na análise de risco potencial, os autores utilizaram uma metodologia SIG que resultou da sobreposição dos cenários de trajectórias simuladas e proximidades às edificações. É de salientar que foi também realizada uma análise de maior sensibilidade, tendo-se feito o mesmo procedimento com um ângulo de atrito de 19° (cenários pessimistas). A carta de risco obteve-se após o cruzamento das trajectórias simuladas com a ocupação do local (**Figura 2.12**).

Segundo os autores, na carta das trajectórias realistas, apenas 33 blocos apresentam pouca ou nenhuma trajectória de movimento. Cerca de 48 blocos têm pequenas a intermédias trajectórias, 47 blocos trajectórias significativas e 60 blocos apresentam trajectórias muito longas.

O objectivo deste estudo e a metodologia proposta pelos autores visaram a construção de uma carta de risco associado ao movimento de blocos rochosos. Variando o coeficiente de atrito, podem ser obtidas cartas de risco “mais realistas” ($21,5^\circ$) ou “mais pessimistas” (19°).

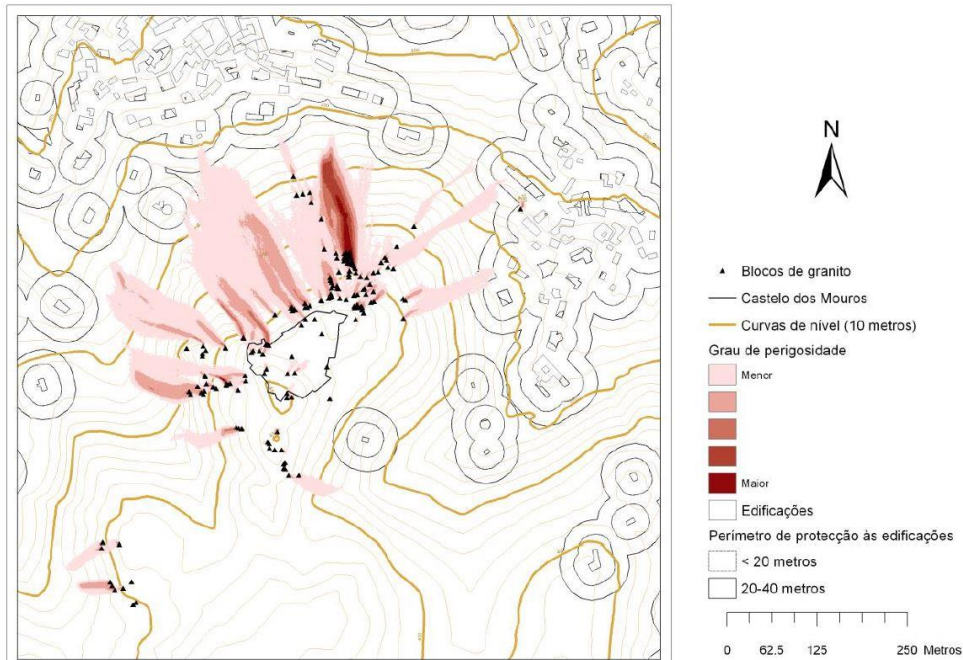


Figura 2.33 - Carta de risco com trajetórias simuladas segundo o cenário realista (Almeida, 2003)

Figura 2.34 - Perfil do Penedo da Sobreira obtido por técnica de varrimento a laser (Alejano et al., 2010) **Figura 2.35** - Carta de risco com trajetórias simuladas segundo o cenário realista (Almeida, 2003)

2.6.2. Galiza, Espanha

Numa encosta na Galiza, na região NW de Espanha, perto da fronteira com Portugal, localiza-se um bloco de granito designado por Penedo da Sobreira. Este bloco rochoso há mais de 50 anos conhecido pela população nas proximidades, apresenta 18,35 metros de altura e 14,30 metros de largura. A presença de outros blocos semelhantes, incluindo blocos em movimento, são conhecidos em outras zonas da mesma região.

O trabalho realizado (Alejano et al., 2009) teve como principal objectivo avaliar a estabilidade do Penedo da Sobreira e determinar as possíveis consequências caso este se movimentasse. O estudo foi fomentado pela aldeia mais próxima, localizada 300 metros abaixo do penedo, alegando que o bloco se movimentou ao longo dos anos. Posto isto, foi primeiramente comparada a posição em que se encontrava o bloco com imagens de fotografia aérea do ano de 1965; esta comparação indicou que o bloco não apresentou quaisquer movimentos ou se se alguma vez movimentou, foram escassos milímetros.

Para a avaliação da estabilidade do bloco rochoso, foi necessário determinar a sua geometria em detalhe. Para tal, os autores recorrem a uma técnica de varrimento a laser terrestre (**Figura 2.13**).

Foi igualmente necessário determinar qual a área de contacto entre o penedo e a sua base de suporte. Desta metodologia, resultou um volume de 2,230 m³ e uma área de contacto com a base de 136,2 m². Conjuntamente, foram tidos em conta o nível de precipitação (uma vez que aumenta a pressão de água superficial na base do bloco rochoso) e a ocorrência de sismos.

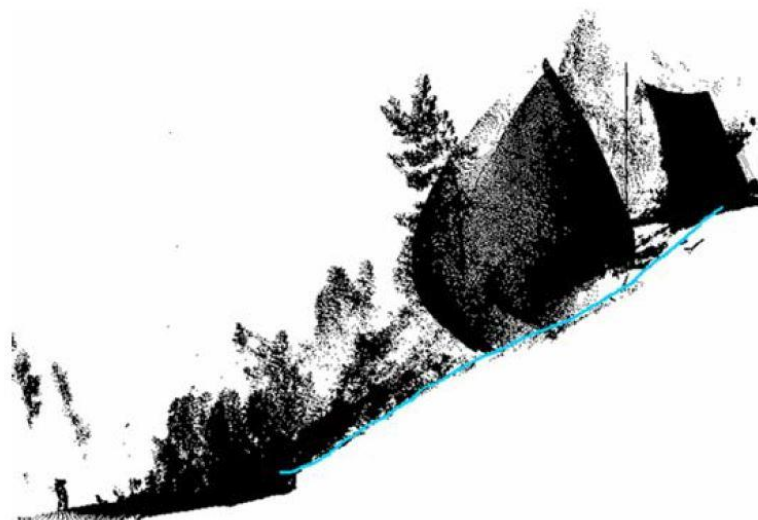


Figura 2.36 - Perfil do Penedo da Sobreira obtido por técnica de varrimento a laser (Alejano et al., 2010)

Figura 2.37 - Enquadramento Geográfico da Aldeia de Monsanto, Idanha-a-Nova, Castelo Branco / fonte: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community
Figura 2.38 - Perfil do Penedo da Sobreira obtido por técnica de varrimento a laser (Alejano et al., 2010)

Os autores deste trabalho estudaram o bloco sobre o plano inclinado que lhe serve de base para dois tipos de mecanismos de instabilidade: deslizamento e tombamento. Posteriormente, com recurso ao software *RocFall* (Rocscience 2004) traçaram a sua possível trajectória, através do modelo estatístico Monte Carlo.

O Penedo da Sobreira foi classificado como estável ao nível de deslizamento, contudo, considerou-se que existia um risco real de tombamento. Quanto à trajectória, se o bloco iniciar o movimento irá alcançar a estrada localizada 10 metros abaixo da localização inicial do bloco e poderá atingir as primeiras casas da aldeia que se situa mais abaixo, a 300 metros.

Tendo em conta estes riscos, considerou-se necessário estabilizar o Penedo da Sobreira. Foi proposta a ancoragem da parte de trás do bloco e a construção de uma estrutura de suporte com uma parede de contenção. Estas medidas visaram estabilizar o bloco relativamente à sua queda potencial nas piores condições de precipitação e acção sísmica. Além disso, visaram garantir a estabilidade nas próximas décadas e permitiram que o Penedo da Sobreira seja considerado um local de atracção turística.

3. Caso de Estudo – Aldeia de Monsanto

3.1. Enquadramento Geográfico

A aldeia de Monsanto localiza-se no Concelho de Idanha-a-Nova, pertencente ao Distrito de Castelo Branco em Portugal Continental, tal como ilustra a **Figura 3.1**. O distrito de Castelo Branco encontra-se integrado no território do Geopark Naturtejo da Meseta Meridional – Geoparque Europeu e Global sob os auspícios da UNESCO, desde 2006. O *inselberg* de Monsanto onde se edifica a aldeia é um dos geomonumentos deste Geopark.

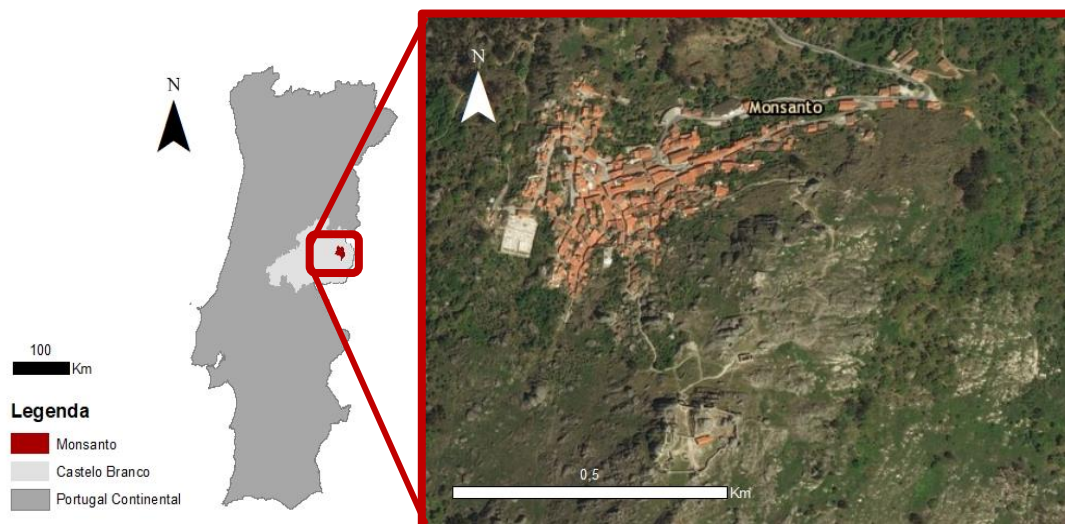


Figura 3.1 - Enquadramento Geográfico da Aldeia de Monsanto, Idanha-a-Nova, Castelo Branco | fonte: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Figura 3.2 - Excerto da Carta Topográfica de Portugal, à escala 1/25 000 **Figura 3.3** - Enquadramento Geográfico da Aldeia de Monsanto, Idanha-a-Nova, Castelo Branco | fonte: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Tal como ilustra a Carta Topográfica 1/25 000 (**Figura 3.2**), o relevo onde a aldeia de Monsanto se insere, destaca-se da restante paisagem de relevos predominantemente aplanados. A aldeia situa-se a uma altitude aproximadamente entre 500 e 748 metros, marcada pelo vértice geodésico. A área urbana concentra-se na encosta NW, onde o declive é mais suave.

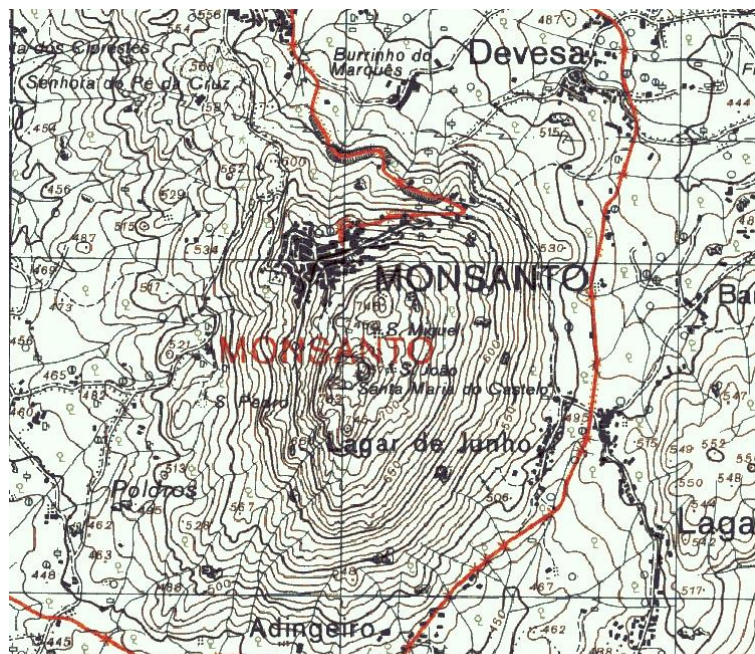


Figura 3.4 - Excerto da Carta Topográfica de Portugal, à escala 1/25 000

Figura 3.5 - Enquadramento Geológico de Monsanto, na zona centro-sul do Plutão de Penamacor-Monsanto | fonte: WMS LNEG Carta Geológica de Portugal 1/500 000; Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Figura 3.6 - Excerto da Carta Topográfica de Portugal, à escala 1/25 000

3.2. Enquadramento Geológico e Geomorfológico

A área de estudo é apenas abrangida na folha Norte da Carta Geológica de Portugal à escala 1/500 000 (**Figura 3.3**), uma vez que a folha 21-C à escala 1/50 000 não foi ainda publicada. Deste facto advém um diminuto conhecimento de cartografia geológica de mais pormenor.

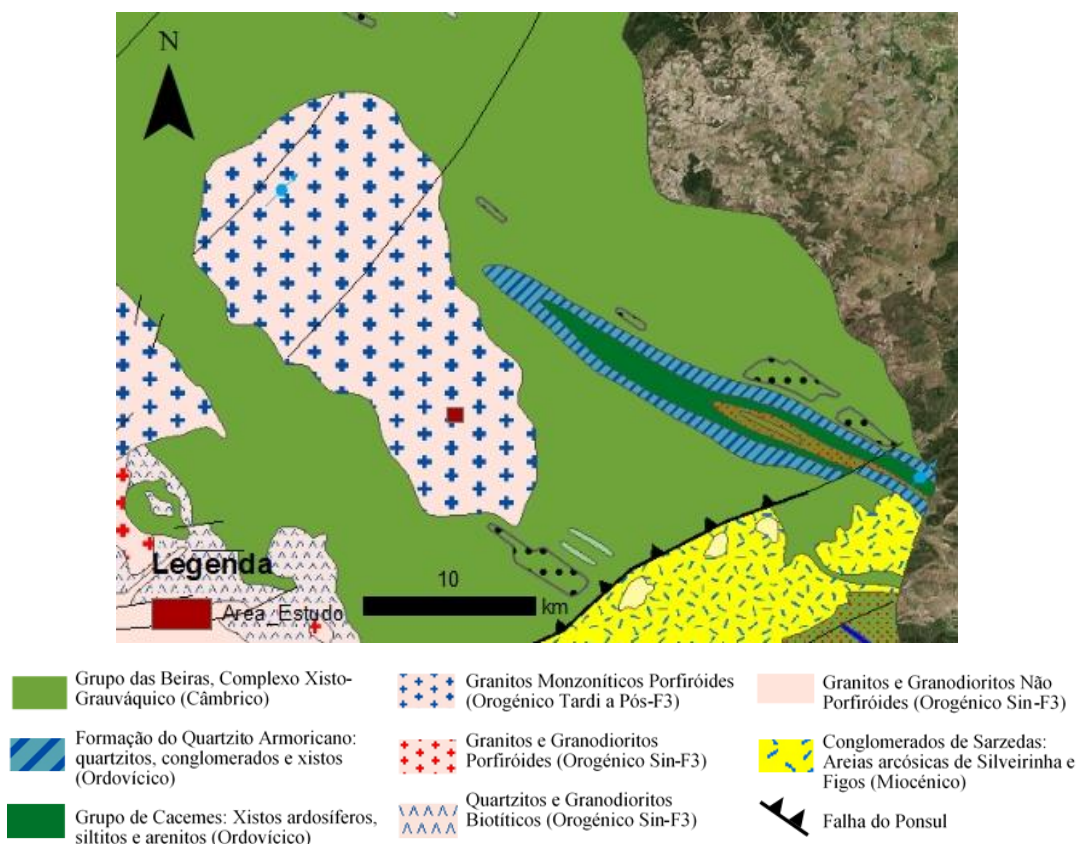


Figura 3.7 - Enquadramento Geológico de Monsanto, na zona centro-sul do Plutão de Penamacor-Monsanto / fonte: WMS LNEG Carta Geológica de Portugal 1/500 000; Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

A região em estudo encontra-se na mais antiga unidade geo-estrutural da Península Ibérica, o Maciço Ibérico¹ (MI), mais concretamente na Zona Centro Ibérica (ZCI). O MI representa o segmento mais ocidental europeu da Cadeia Varisca. Por sua vez, a ZCI corresponde à zona axial da Cadeia e é caracterizada pelas litologias do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG), actualmente designado por Grupo das Beiras (ou Supergrupo Douro-Beiras). No bordo SW da ZCI ocorre magmatismo essencialmente de granitóides, de componente mantélica. Ou seja, o MI é caracterizado pelo predomínio de formações de idade proterozoica e paleozoica, metamorfizadas, deformadas e intruídas por plutonitos graníticos durante a Orogenia Varisca (Ribeiro *et al.*, 1979; Ribeiro, 2006).

Monsanto insere-se no plutão alcalino de Penamacor-Monsanto, que aflora numa área de 136 km², alongado elipticamente segundo a direcção NW-SE. Esta disposição elíptica encontra-se segundo a orientação F3 Varisca do eixo do antiforma desenvolvido em litologias do Grupo das Beiras (Rodrigues *et al.*, 2009). O caso de estudo situa-se no centro-sul do plutão (**Figura 3.3**), onde se desenvolveram diversos *inselbergs*. A aldeia localiza-se no *inselberg* de Monsanto, havendo ainda na mesma zona outros dois *inselbergs*, Moreirinha e Alegrios. Segundo Ferreira

¹ O Maciço Ibérico é também designado por Maciço Antigo ou Maciço Hespérico.

et al. (1987), o plutão granítico poderá ser classificado como tardi-pós-tectónico, uma vez que a orientação dominante de deformação hercínica de fracturação, na sua fase tardia, terá condicionado esta e outras intrusões na região.

O granito encontra-se zonado em três fácies de distribuição concêntrica, de grão médio a grosseiro, com fenocristais de microclina e plagioclase da série oligoclase-albite (Neiva e Campos, 1992; Neiva *et al.*, 2001). Neiva e Campos (1993) afirmam que todas as fácies sofreram intensa alteração metassomática logo após a sua intrusão, sobretudo na margem e no núcleo do plutão. Ocorreu então microclinização caulínizada da plagioclase, moscovitização do feldspato potássico e sericitização dos fenocristais de plagioclase.

O *inselberg* de Monsanto é uma forma residual de relevo resultante da meteorização e erosão da rede de diáclases ortogonal e vertical, com orientações predominantes N34°E e N54°E. O topo do *inselberg* a 758 m de altitude, marcado pelo Vértice Geodésico, coincide com o processo de aplanamento das cristas quartzíticas de Penha Garcia (a NNE) e a rechã onde se instalou a aldeia apresenta uma cota de aproximadamente 650 m, correlacionável com o topo do *inselberg* da Moreirinha. Este *inselberg* surge bruscamente, com declive muito acentuado, da Superfície de Aplanção de Castelo Branco, à cota de 400 m.

O granito que constitui este relevo tem cerca de 310 Ma, quando se instalou uma massa de magma em profundidade sob as rochas mais antigas, nomeadamente os xistos e os grauvaques. No Mesozoico, o clima quente e húmido favoreceu a meteorização química dos minerais constituintes do granito, alterando-o assim em profundidade. No Cenozoico, o clima tornou-se sub-árido, aumentando desta forma os processos de meteorização física. Este facto aliado a fortes enxurradas, promoveram a erosão acelerada com remoção dos xistos e grauvaques, dando origem à exumação do granito à superfície.

Os blocos graníticos são de dimensões métricas, geralmente arredondados e dispersos por toda a superfície topográfica, formando aglomerações de blocos, designado por caos de blocos (Cabral, 1998). Estes blocos são estruturas típicas de rochas maciças, como é o caso dos granitos. A génese destes blocos é favorecida pelo carácter granular dos granitos e pela rede de diaclases ortogonais, permitindo uma alteração mais rápida da rocha nos vértices e arestas. Inicialmente, ocorre a génese subterrânea, traduzida pelo efeito das águas meteóricas em profundidade. Uma vez expostas à superfície topográfica, subsiste a génese subaérea, em que os blocos com o avanço da erosão, tornam-se progressivamente quadrangulares a arredondados. Ou seja, os blocos correspondem a núcleos de rocha sã a ligeiramente alterada. Este arredondamento é também realçado pelo tipo de descamação em “casca de cebola” nos blocos, que se verifica frequentemente no campo.

A Falha do Ponsul é um acidente tectónico de relativa importância no Maciço Ibérico, que se localiza a Sul do plutão Penamacor-Monsanto. A falha estende-se por cerca de 85 km em território português, e prolonga-se por Espanha, atingindo uma extensão total de 120 km (Dias e Cabral, 1989), com uma orientação geral SW-NE. A falha teve origem há cerca de 300 Ma, na fase tardia da Orogenia Varisca, ocorrendo como desligamento esquerdo com rejeito até 1,5 km. Contudo, há cerca de 10 Ma, durante a colisão do continente africano com a Península Ibérica, a falha foi reactivada como falha inversa, resultando numa escarpa de falha com cerca de 210 m, e originou o levantamento da Superfície de Castelo Branco relativamente à Superfície do Alto Alentejo. O rio Ponsul corre segundo esta estrutura num troço de aproximadamente 35 km. Segundo Dias e Cabral (1989), a falha do Ponsul é considerada uma falha activa com baixo grau de actividade. Os mesmos autores calcularam a magnitude máxima para esta falha, tendo obtido uma magnitude de 6 a 7 na escala de Richter, com um intervalo de recorrência entre 30 mil a 9 mil anos.

A **Figura 3.4** surge para uma análise breve da geomorfologia da Aldeia de Monsanto.

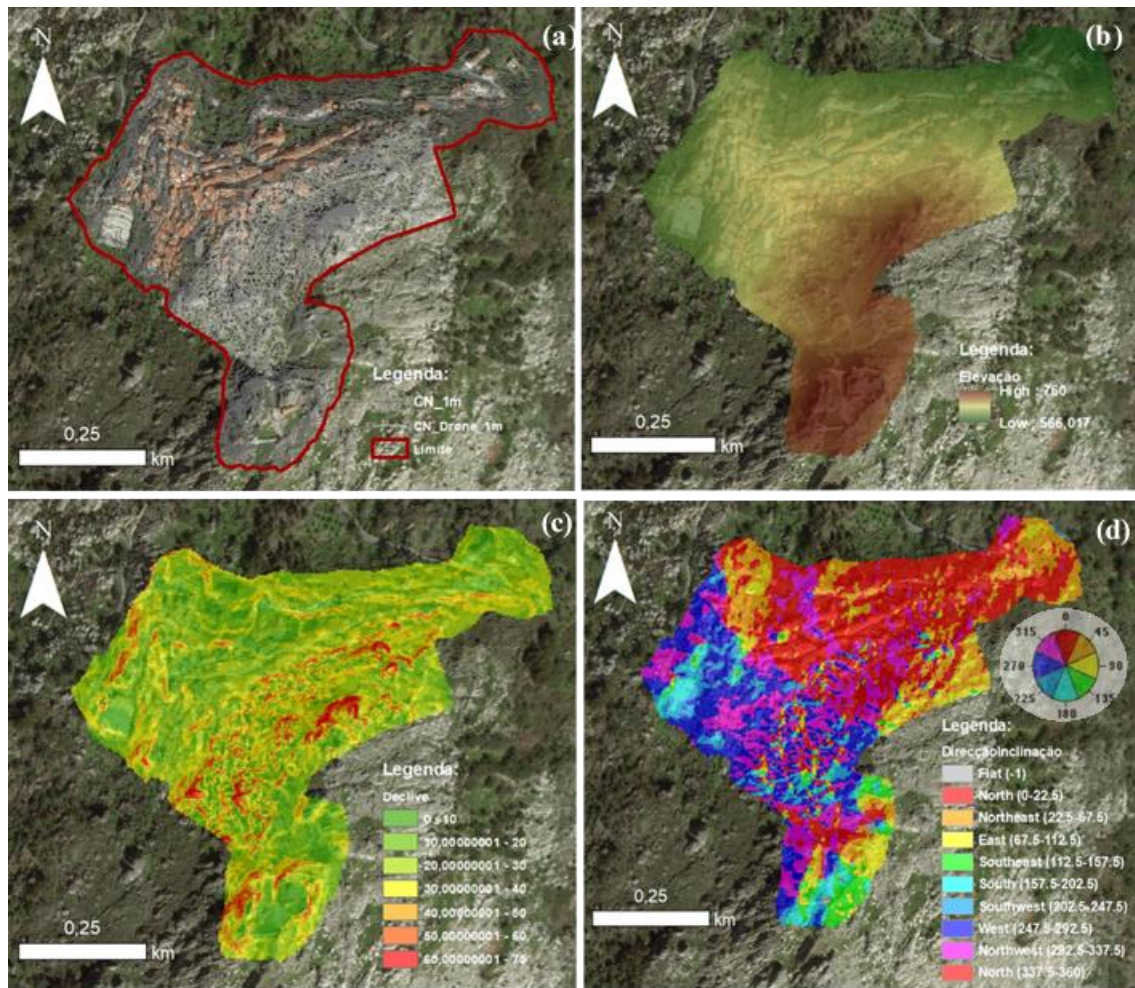


Figura 3.10 - Enquadramento Geomorfológico. (a) Limite e Curvas de Nível com equidistância de 1 metro; (b) Carta de Elevação, em metros; (c) Carta de Declives, em graus; (d) Carta da Direcção de Inclinação do Declive / fonte: DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Figura 3.11 - Localização Histórico de Movimento/ fonte Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community **Figura 3.12** - Enquadramento Geomorfológico. (a) Limite e Curvas de Nível com equidistância de 1 metro; (b) Carta de Elevação, em metros; (c) Carta de Declives, em graus; (d) Carta da Direcção de Inclinação do Declive / fonte: DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

A **Figura 3.4a** apresenta o limite aproximado da área da aldeia. Este contorno é limitado a Sul pelo Castelo, a Oeste pelo Cemitério e área urbana e a Noroeste pela Escola Primária e o posto da GNR. Constatam ainda as curvas de nível com equidistância de 1 metro, disponibilizadas pela Câmara Municipal de Idanha-a-Nova e geradas pelo levantamento com recurso a drone (secção 4.3).

A **Figura 3.4b** representa a variação da elevação em metros. É possível constatar que a elevação aumenta gradualmente, desde as cotas mais baixas onde se situa a área urbana (560 m), até às cotas mais elevadas onde se situa o Castelo (760 m). Esta diferença de cotas é de aproximadamente 200 metros.

A **Figura 3.4c** apresenta os declives (em graus) presenciados na aldeia, permitindo visualizar as encostas de maior inclinação. É possível observar que existem diversas zonas relativamente

aplanadas, tanto na zona do Castelo como no centro da urbanização. Estas zonas mais aplanadas (10-20°) surgem em diversos patamares e são limitadas por vertentes abruptas (>60°).

Por fim, a **Figura 3.4d**, representa a direcção da inclinação das encostas. De uma forma simplificada, observa-se que a zona Norte e NE apresentam uma direcção de inclinação maioritariamente para Norte e Este; e a zona Oeste tem direcções de inclinação W, NW e SW. A zona do Castelo, por ser o topo do *inselberg*, apresenta diversas direcções de inclinação.

3.3. Histórico de Movimentos

O registo de movimentos que possam ter ocorrido é importante na avaliação do risco uma vez que permite validar qualquer modelo de susceptibilidade e previsão de trajectórias. Dado não nos ter sido facultado qualquer registo, foram questionados informalmente habitantes locais e membros da Junta de Freguesia de Monsanto. Foi afirmado que não há memória de danos pessoais ou patrimoniais causados por movimentos de terreno.

Neste subcapítulo descrevem-se alguns relatos do histórico de movimentos ou evidências físicas de movimentações no passado. A **Figura 3.5** representa a localização desses eventos.

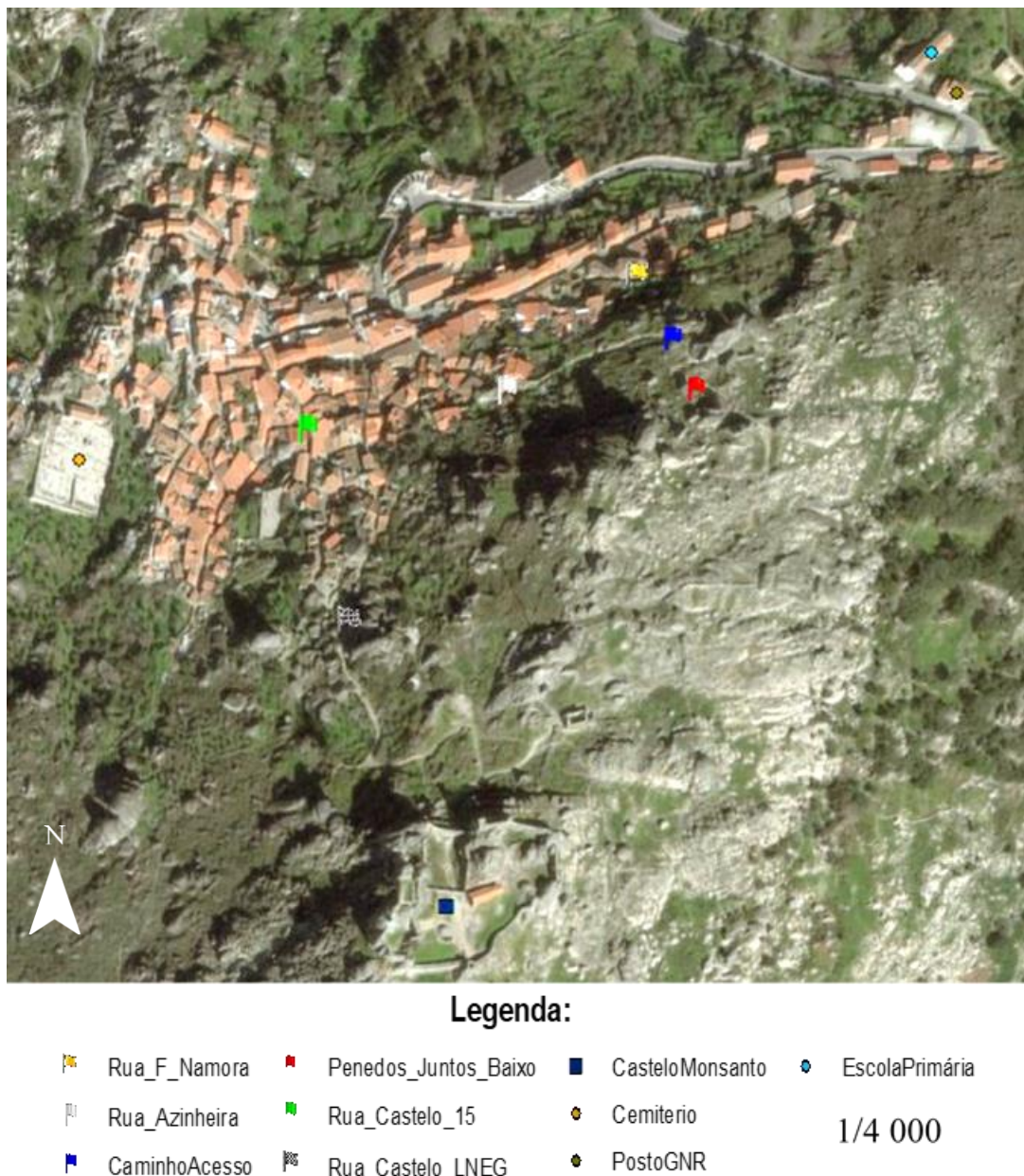


Figura 3.13 - Localização Histórico de Movimento/ fonte Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Figura 3.14 - Bloco fragmentado junto aos Penedos Juntos de Baixo **Figura 3.15** - Localização Histórico de Movimento/ fonte Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

- **Rua Fernando Namora**

Segundo o testemunho de um habitante, há cerca de 50 ou 60 anos, ocorreu a queda de um bloco de rocha de aproximadamente 2 metros de dimensão, em cima do telhado da sua casa. Não há qualquer informação da localização exacta desta ocorrência.

- **Penedos Juntos de Baixo**

De acordo com o relato de dois habitantes, há aproximadamente 2 ou 3 anos, ocorreu a queda de um bloco rochoso. Segundo os mesmos, o bloco rochoso foi fragmentado em pedaços de rocha de menores dimensões e posteriormente colocados junto aos Penedos Juntos de Baixo. Tais evidências podem ser confirmadas na **Figura 3.6**.



Figura 3.16 - Bloco fragmentado junto aos Penedos Juntos de Baixo

Figura 3.17 - Blocos caídos de movimentos antigos **Figura 3.18** - Bloco fragmentado junto aos Penedos Juntos de Baixo

- **Caminho de acesso aos Penedos Juntos**

Este caminho de acesso localiza-se no final da Rua da Azinheira até aos Penedos Juntos. É possível neste troço observar evidências de blocos caídos em diversos momentos.

Blocos sujeitos a movimentos mais recentes, possíveis de concluir pela sua coloração muito mais clara e superfície limpa (**Figura 3.7**), devido a diacrise aberta e alterada.

E blocos sujeitos a movimentos antigos, visível pelo estado dos blocos, já de coloração escura e com musgos e líquens (**Figura 3.8**).

É possível verificar também no talude deste caminho, a fracturação e alteração no maciço rochoso, traduzido pela coloração alaranjada (alteração do maciço) e fracturas existentes (**Figura 3.9**).



Figura 3.22 - Bloco caído de movimento recente

Figura 3.23 –



imento recente

Figura 3.19 - Blocos caídos de movimentos antigos



Figura 3.25 – Fracturação e Alteração no maciço rochoso

Figura 3.26 - Bloco instável com testemunhos de gesso para monitorização, à entrada da habitação
Figura 3.27 – Fracturação e Alteração no maciço rochoso

- **Rua da Azinheira**

Encontra-se uma habitação em estado devoluto no extremo NE da Rua da Azinheira, em frente ao alojamento local Cantinho da Coxixa e outras habitações. Junto à entrada da habitação, verifica-se a existência de um bloco potencialmente instável, com testemunhos de gesso para monitorização de eventual movimento (**Figura 3.10**).

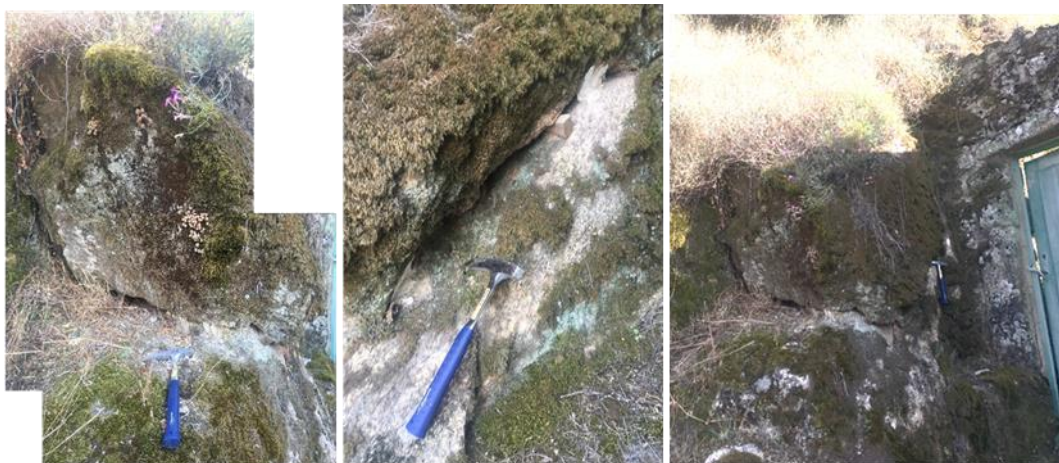


Figura 3.28 - Bloco instável com testemunhos de gesso para monitorização, à entrada da habitação

Figura 3.29 - Queda de material rochoso no interior da habitação **Figura 3.30** - Bloco instável com testemunhos de gesso para monitorização, à entrada da habitação

No interior da mesma habitação ocorreu também um deslizamento e/ou queda de blocos de rocha alterada a muito alterada, devido à presença de uma diaclase subvertical (**Figura 3.11**). A **Figura 3.12** diz respeito a um pequeno bloco caído recentemente, num caminho secundário nas traseiras da habitação em devoluto.



Figura 3.31 - Queda de material rochoso no interior da habitação

Figura 3.32 - Queda de bloco recente, nas traseiras da habitação **Figura 3.33** - Queda de material rochoso no interior da habitação



Figura 3.34 - Queda de bloco recente, nas traseiras da habitação

Figura 3.35 - (a) bloco caído no ano de 2014, na Rua do castelo nº15; (b) Muro de contenção em betão (à esquerda) e testemunhos em gesso para monitorização (à direita) **Figura 3.36** - Queda de bloco recente, nas traseiras da habitação

- **Rua do Castelo**

Na Rua do Castelo nº 15, ocorreu a queda de um bloco no ano de 2014 (**Figura 3.13a**), segundo a informação do Carlos Neto de Carvalho da Naturtejo. Um pouco mais acima, na mesma rua,

pode ser observado também um muro de contenção construído em betão e com monitorização baseada por testemunhos de gessos nas diaclases e contacto entre blocos (**Figura 3.13b**). É apenas sabido que esta intervenção ocorreu na década de 1980 e foi realizada pelo LNEC.



Figura 3.37 - (a) bloco caído no ano de 2014, na Rua do castelo nº15; (b) Muro de contenção em betão (à esquerda) e testemunhos em gesso para monitorização (à direita)

Figura 3.38 - Fracturação de blocos rochosos pela abertura completa de diaclases subverticais **Figura 3.39** - (a) bloco caído no ano de 2014, na Rua do castelo nº15; (b) Muro de contenção em betão (à esquerda) e testemunhos em gesso para monitorização (à direita)

- **Blocos Diversos**

Existem diversos blocos dispersos por toda a área de estudo, de formas arredondadas a ovais, divididos em metades. Este facto resulta da abertura completa das diaclases subverticais presentes nos blocos rochosos, dando origem a dois blocos com uma face plana. Assume-se que estas ocorrências tenham ocorrido num passado mais longínquo devido à coloração dos blocos e existência de musgos e líquens. A **Figura 3.14** exemplifica alguns destes casos. A **Figura 3.15** ilustra o processo de individualização de blocos rochosos através das diaclases subhorizontais e subverticais presentes no maciço rochoso.



Figura 3.40 - Fracturação de blocos rochosos pela abertura completa de diaclases subverticais

Figura 3.41 - Processo de formação de blocos rochosos devido a diaclases subhorizontais e subverticais. À esquerda junto à entrada do Castelo e à direita no caminho de acesso aos Penedos Juntos **Figura 3.42** - Fracturação de blocos rochosos pela abertura completa de diaclases subverticais

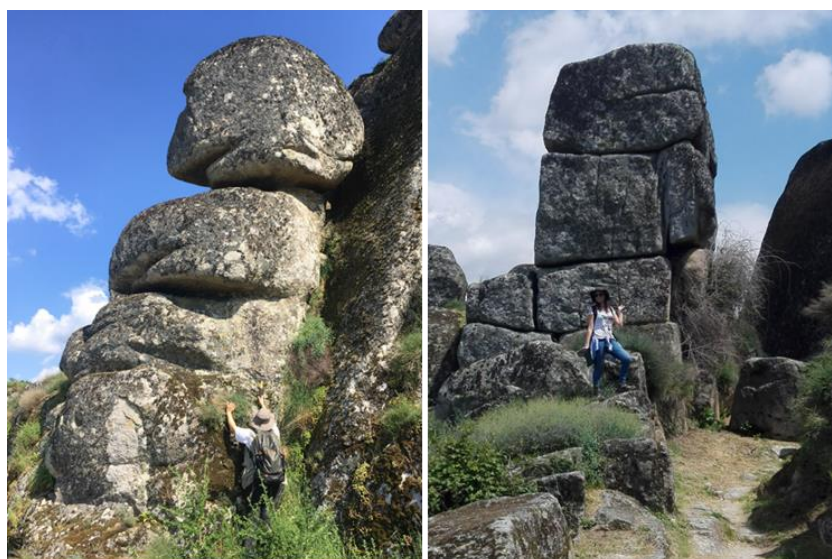


Figura 3.43 - Processo de formação de blocos rochosos devido a diaclases subhorizontais e subverticais. À esquerda junto à entrada do Castelo e à direita no caminho de acesso aos Penedos Juntos

Figura 3.44 - Folha de registo para trabalho de campo **Figura 3.45** - Processo de formação de blocos rochosos devido a diaclases subhorizontais e subverticais. À esquerda junto à entrada do Castelo e à direita no caminho de acesso aos Penedos Juntos

3.4. Trabalhos Anteriormente Realizados na Aldeia

Relativamente a trabalhos anteriores, de natureza geológico-geotécnica realizados na Aldeia de Monsanto há a referir uma tese de mestrado do Instituto Superior Técnico (IST) (Prazeres, 2017). Este trabalho incidiu apenas sobre a área urbana da Aldeia de Monsanto. O trabalho desenvolveu-se em diversas etapas, incluindo trabalho de campo, ensaios laboratoriais em

amostras de rocha, classificação do maciço, definição das principais famílias de diaclases, análise cinemática e mecanismos de rotura até à posterior identificação dos locais mais vulneráveis e propostas de estabilização e monitorização.

No que concerne ao trabalho de campo, foram analisadas 10 estações de diaclasamento em localizações específicas. Estas foram escolhidas tendo em conta a representatividade das várias encostas na aldeia. Em cada uma destas estações foram caracterizadas as famílias de diaclases predominantes, com o intuito de prever o mecanismo de rotura mais provável nesses locais. Para além disso, foram também recolhidas informações acerca do maciço rochoso e das características de cada descontinuidade.

Ainda no campo, foram recolhidas amostras numa obra de escavação, correspondente ao alargamento do interior de uma habitação, e por isso sendo expectável que o maciço se encontrasse menos alterado. Daqui resultaram quatro provetes cilíndricos que foram sujeitos primeiramente ao ensaio de determinação da velocidade de ultrassons (não destrutivos) e posteriormente ao ensaio de compressão uniaxial (destrutivo), que permite inferir a resistência à compressão e a deformabilidade da rocha.

Com base nas informações recolhidas no campo, o maciço rochoso foi classificado de acordo com o sistema de classificação RMR (Bieniawski, 1989) e GSI (Hoek *et al.*, 1998). Com recurso ao *software Dips (RocScience)*, o autor procedeu, para cada estação, a uma análise das famílias de diaclases, permitindo não só identificar as principais famílias como determinar os mecanismos de rotura com ocorrência mais provável. Baseando-se em todas as informações obtidas, Prazeres (2017) identificou os locais com maior vulnerabilidade de ocorrência de instabilidade e indicou possíveis medidas de estabilização/contenção específicas para cada caso e monitorização.

De modo sucinto, poder-se-á concluir que:

- o maciço é compartimentado principalmente por duas famílias de diaclases subverticais e famílias subhorizontais de inclinação muito variável;
- o maciço encontra-se medianamente alterado (W3), ocorrendo locais onde se encontra muito alterado (W4) e por vezes até friável e arenizado (W5);
- a resistência à compressão uniaxial é reduzida (~ 50 MPa) e o ensaio de velocidade de ultrassons apresentaram resultados inferiores aos tabelados para rochã sã, comprovando o grau de alteração do maciço medianamente alterado a localmente alterado observado *in situ*;
- a classificação RMR indica que o maciço se encontra entre as classes II a IV, para o RMR básico. A classificação GSI permitiu identificar as características mecânicas do maciço e atribuir um valor de 30° ao ângulo de atrito das descontinuidades;
- através da análise cinemática, demonstrou-se que os mecanismos de rotura mais prováveis de ocorrer são a rotura por basculamento e rotura planar;
- existem diversos locais vulneráveis, no entanto, o local que tenderá a ter um risco mais elevado, será a encosta onde se situa a Escola Primária e o Posto da GNR. Para além desse, os pontos turísticos, como são o caso dos “Penedos Juntos”, “Penedo do Pé Calvo” e a “Gruta” são também locais onde se deverá intervir com alguma urgência;
- as propostas de medidas a aplicar incluem a remoção controlada de blocos, aplicação de calda de cimento ou resina epóxica selando as aberturas, redes de aço, ancoragens e monitorização.

De acordo com Prazeres (2017) existem locais onde é imperativa a monitorização e a aplicação de medidas de estabilidade, visto que se verificam numerosos blocos rochosos que apresentam

base de suporte em condições deficientes devido à intensa erosão e escoamento de água da chuva. Pelo facto de Monsanto se localizar no topo de um maciço rochoso e ser uma aldeia turística, devem ser aplicadas medidas de estabilização mantendo a sua identidade visual.

Como perspectivas de trabalho futuro, foi sugerido um estudo detalhado de todos os locais já observados e ainda a extensão da área de estudo, de forma a incluir toda a aldeia e caminhos turísticos até ao castelo. É ainda proposta a modelação da trajectória dos blocos de forma a prever os danos e perdas materiais. Existe ainda a necessidade de tornar a população mais consciente da problemática desta questão, para que trabalhos futuros e medidas de intervenção sejam facilitados e bem aceites.

A presente dissertação dá continuidade ao trabalho preliminar realizado por Prazeres (2017), com o intuito de analisar a susceptibilidade de instabilização de blocos rochosos e proceder a uma avaliação preliminar do risco associado.

3.5. Metodologia

Relembra-se que o objectivo principal deste trabalho é a análise da susceptibilidade de instabilização de blocos rochosos e uma avaliação preliminar do risco associado, traduzida pela avaliação do potencial de mobilidade estático e potencial de mobilidade dinâmico dos vários blocos. Neste subcapítulo é descrita toda a metodologia pela ordem de execução ao longo do trabalho.

3.5.1. Trabalho de Campo

O trabalho de campo é a etapa determinante para a concretização do objectivo desta tese com sucesso, tendo sido a primeira tarefa a executar. O trabalho de campo teve como finalidade o levantamento de diversos parâmetros próprios a cada bloco, e também o reconhecimento geral da área da aldeia, da distribuição dos caos de blocos e quais os locais mais vulneráveis ao movimento de blocos.

A área de estudo foi definida de forma a tratar os blocos rochosos que afectam a área urbana, constituída pelas habitações, ruas principais e de acesso ao castelo. Ou seja, apenas se deu importância à encosta W do *inselberg* de Monsanto, uma vez que a encosta E não tem quaisquer edificações ou outros objectos de risco à queda de blocos rochosos.

Para a realização do trabalho de campo foi necessário a folha de registo com os parâmetros a registar (**Figura 3.15**), uma bússola, martelo de mão, martelo de Schmidt e distanciómetro a laser da Leica.

3.5.1.1. Parâmetros a levantar

Atendendo à especificidade do caso em análise, para cada bloco *in situ*, foram escolhidos os parâmetros geotécnicos que melhor permitem uma correcta caracterização da estabilidade mecânica dos blocos a inventariar. Assim sendo, no decorrer do trabalho de campo registaram-se os seguintes parâmetros:

- i) dimensão do bloco;
- ii) arredondamento das faces e arestas;
- iii) posição do centro de massa;
- iv) inclinação, alteração e rugosidade da base;
- v) percentagem da área de contacto;

- vi) enraizamento/enterramento do bloco;
- vii) efeito de carga;
- viii) grau de alteração do bloco;
- ix) dureza de Schmidt.

Estes parâmetros geotécnicos traduzem o potencial para a iniciação de movimento de um bloco e a sua progressão. Os parâmetros podem ser agrupados em três categorias, nomeadamente: *geometria, resistência e envolvente*.

Os parâmetros geométricos são descritos pela dimensão dos blocos, segundo os três eixos perpendiculares (X, Y e Z) (i), o arredondamento das faces e das arestas (ii) e a posição do centro de gravidade (iii).

Os parâmetros relativos à resistência são descritos pelo grau de alteração do bloco (viii) e a resistência mecânica, traduzida pela dureza de Schmidt (ix). Estes parâmetros são intrínsecos ao bloco e são bons indicadores do potencial para, após o início do movimento do bloco, este se fragmentar.

Os parâmetros descritivos do meio envolvente referem-se às condições da base de contacto (iv) e à percentagem da área de contacto (v), assim como o enraizamento/enterramento (vi) e o efeito de carga (vii). Estes parâmetros são também intrínsecos ao bloco e são suscetíveis de descrever o potencial para o início do movimento. É de salientar que a vegetação não foi tida em conta neste trabalho.

Todos os parâmetros qualitativos são categorizados em **três classes de perigosidade distintas** (1, 2 e 3), à excepção das dimensões do bloco, inclinação da base e dureza de Schmidt (parâmetros quantitativos). A **classe (1)** é o nível “**baixo**”, significativo de maior estabilidade mecânica; a **classe (2)** é o nível “**intermédio**”; e a **classe (3)** é o nível mais “**elevado**”, significativo de menor estabilidade mecânica. É de referir que os parâmetros quantitativos apenas são categorizados em classes aquando da discriminação dos blocos rochosos (**secção 3.5.4**).

Esta classificação assim adoptada foi vantajosa tanto para automatizar o registo durante o trabalho de campo, como para a posterior avaliação estatística dos blocos, permitindo assim incorporar todas as variáveis no mesmo formato ordinal.

As **dimensões** foram obtidas com recurso a um distanciómetro e por vezes inferidas visualmente, uma vez que nem sempre foi possível a utilização do laser do distanciómetro (por excesso de luminosidade ou dificuldades físicas no campo). A partir das dimensões dos três eixos ortogonais (**Tabela 3.1**), pôde deduzir-se a forma e o volume de cada bloco.

Tabela 3.1 – Dimensões segundos os três eixos perpendiculares

| Dimensões (m) | Classificação | Atribuição |
|------------------|------------------------|------------|
| | segundo a direcção X | |
| | segundo a inclinação Y | |
| | altura Z | |

O **arredondamento** do bloco indica se o bloco possui vértices e arestas bem definidas ou se é totalmente arredondado (**Tabela 3.2**). Quanto mais arredondado for o bloco, maior poderá ser o percurso da sua trajectória. Contrariamente, um bloco com faces e arestas bem definidas, caso se inicie movimento, a progressão do seu movimento poderá ser mais reduzida.

Tabela 3.2 - Classificação e Atribuição do Arredondamento do bloco

| Arredondamento | Classificação | Atribuição |
|----------------|---|------------|
| | faces e arestas bem definidas | 1 |
| | faces definidas, mas arestas arredondadas | 2 |
| | sem arestas, totalmente arredondado | 3 |

A posição do **centro de massa** do bloco é um dos parâmetros mais importantes no que diz respeito à estabilidade do bloco ao tombamento (**Tabela 3.3**). Caso o centro de gravidade de um bloco se situe perto do limite ou mesmo fora da base de suporte, o bloco é em geral mais instável, comparativamente a um bloco cujo centro de massa se situe completamente dentro da sua base de suporte. Este parâmetro, aliado com a **inclinação** da base de contacto (**Tabela 3.4**), são indicadores directos no campo da situação de estabilidade do bloco (**Figura 2.7**). A estabilidade de um bloco numa base sub-horizontal é maior comparativamente a um bloco em base inclinada.

Tabela 3.3 - Classificação e Atribuição da Posição do Centro de Massa do bloco

| Centro de Massa | Classificação | Atribuição |
|-----------------|------------------------------------|------------|
| | dentro da base de suporte | 1 |
| | perto do limite da base de suporte | 2 |
| | fora da base de suporte | 3 |

Tabela 3.4 - Inclinação da Base de Suporte

| Inclinação da Base (°) | Atribuição |
|------------------------|------------|
| | |

O **grau de alteração**, tanto do bloco como da sua base, é indicador da sua resistência mecânica. Esta classificação foi atribuída com base na classificação ISRM (1981) (**Tabela 3.5**). No campo, este parâmetro foi avaliado com recurso à coloração apresentada e à maior ou menor resistência oferecida com o martelo de mão (e ao som por ele produzido). Em casos em que o grau de alteração da base é elevado, o bloco é mais susceptível de iniciar movimento por deslizamento, visto que apresenta resistência mais deficiente e rugosidade mais baixa no contacto com a base de suporte.

Tabela 3.5 - Classificação e Atribuição do Grau de Alteração do bloco (ISRM, 1981)

| Grau de Alteração | Símbolo | Designação | Descrição | Atribuição |
|-------------------|---------|------------|-------------------------------------|------------|
| | W1 | São | Sem quaisquer indícios de alteração | 1 |

| | | | | |
|--|----|-----------------------|---|---|
| | W2 | Pouco Alterado | Indícios de alteração apenas nas imediações das descontinuidades | 2 |
| | W3 | Medianamente Alterado | Alteração visível, mas a rocha não é friável (coloração amarelada) | |
| | W4 | Muito Alterado | Alteração visível e a rocha é parcialmente friável (coloração alaranjada) | 3 |
| | W5 | Decomposto | Completamente friável, comportamento de solo | |

A **rugosidade da base** de contacto foi avaliada de acordo com os perfis de comparação visual de Barton e Choubey (1977) (**Figura 2.9**), com atribuição de um valor de JRC (*Joint Roughness Coefficient*) (**Tabela 3.6**). Quanto maior a rugosidade da base (maior valor de JRC), maior a resistência ao corte e a ângulo de atrito, dificultando a iniciação do movimento do bloco por deslizamento. A alteração da base de suporte e a sua rugosidade influenciam a resistência ao corte.

Tabela 3.6 - Classificação e Atribuição do valor de JRC do bloco

| JRC | Classificação | Atribuição |
|-----|---------------|------------|
| | 16 - 20 | 1 |
| | 10 - 16 | 2 |
| | 0 - 10 | 3 |

A percentagem da **área de contacto** indica quanto da base do bloco se encontra em contacto com o maciço ou a base que o suporta (**Tabela 3.7**). Quanto maior a área de aderência, maior atrito e suporte é exercido, e como tal, menor será a susceptibilidade de iniciar movimento. Quanto menor é a área de contacto, maior tensão é exercida. O efeito da rugosidade é mais intenso se a área de contacto for maior.

Tabela 3.7 – Classificação e Atribuição da Área de Contacto

| % Área de Contacto | Classificação | Atribuição |
|--------------------|---------------|------------|
| | aderente | 1 |
| | > 50% | 2 |
| | < 50% | 3 |

O **enraizamento ou enterramento** do bloco diz respeito ao modo como o bloco se relaciona com a base (**Tabela 3.8**). Quanto mais enterrado um bloco, mais estável, à partida, será; de um modo geral, quando se encontra nesta situação, indica que não sofre acentuada erosão e não acumula água na base de contacto. Contrariamente, um bloco que apresente a base a descoberto, ou seja, é visível todo o contacto do bloco com a sua base de suporte, significa que a área é mais afectada pela erosão e escorrência de água e deste modo é mais susceptível a iniciar movimento. A maioria dos blocos inventariados apresentam a base a descoberto, pelo que este parâmetro não foi utilizado na discriminação dos blocos.

Tabela 3.8 - Classificação e Atribuição do Enraizamento/Enterramento do bloco

| Enraizamento/ Enterramento | Classificação | Atribuição |
|-------------------------------|-----------------------|------------|
| | > 1/10 do comprimento | 1 |

| | | Nº BLOCO | | | | | |
|---|---|-----------------------|---|-------------------|-------------|------------------------|---|
| | | < 1/10 do comprimento | | 2 | | | |
| Parâmetro | Classificação | Atribuição | | base a descoberto | Observações | | |
| Dimensões | segundo direcção X | | | | | | |
| | segundo inclinação Y | | | | | | |
| | altura Z | | | | | | |
| O efeito de carga descreve a interação de um bloco com outros, ou seja, suporta ou não outros blocos, de maiores ou menores dimensões (Tabela 3.9). Um bloco quando suporta outros blocos, aumenta a tensão que ele deve suportar, favorecendo uma possível fragmentação e instabilidade desse mesmo bloco. Nesta situação, o bloco encontra-se numa situação de maior vulnerabilidade, influenciando a estabilidade dos restantes blocos que por ele são suportados. | faces definidas, mas arestas arredondadas | 2 | | | | | |
| Arredondamento | sem arestas, totalmente arredondado | 3 | | | | | |
| Centro de Massa | perto do limite da base de suporte | 2 | | | | | |
| | situado no centro | 3 | | | | | |
| Inclinação da base contacto (°) | | | | | | | |
| Alteração da BASE | W1-2 | 1 | | | | | |
| | W3 | 2 | | | | | |
| | W4-5 | 3 | | | | | |
| Rugosidade da base | Tabela 3.9 - Classificação e Atribuição do Efeito de Carga do bloco | | 1 | | | | |
| | JRC, comparação perfis tipo | | 2 | | | | |
| | | | 3 | | | | |
| % área de contacto | | aderente | 1 | Classificação | Atribuição | | |
| | | >50% | 2 | | | bloco não é de suporte | 1 |
| | | <50% | 3 | | | | |
| Enraizamento / Enterramento | Efeito de Carga | | 1 | | | | |
| | d > 1/10 comprimento | | 2 | | 2 | | |
| | d < 1/10 comprimento | | 3 | | 3 | | |
| Efeito de carga | base a descoberto | | 1 | | | | |
| | bloco não é de suporte | | 1 | | | | |
| | suporta bloco de < dimensão | | 2 | | | | |
| Alteração do | suporta bloco de > dimensão | | 3 | | | | |
| | W3 | | 2 | | | | |
| | W4-5 | | 3 | | | | |
| A dureza de Schmidt avalia a resistência à compressão uniaxial através do martelo de Schmidt e posteriormente pelo abaco proposto por Deere e Miller (1966) (Figura 2.10) ou pela Equação 1.3. Aquando da realização deste ensaio é necessário procurar superfícies o mais limpas e intactas possível para uma melhor aproximação dos resultados à realidade. Porém, é importante | | | | | | | |

O efeito de carga descreve a interação de um bloco com outros, ou seja, suporta ou não outros blocos, de maiores ou menores dimensões (**Tabela 3.9**). Um bloco quando suporta outros blocos, aumenta a tensão que ele exerce, favorecendo uma possível fragmentação e instabilidade desse mesmo bloco. Nesta situação, o bloco encontra-se numa situação de maior vulnerabilidade, influenciando a estabilidade dos restantes blocos que por ele são suportados.

A **dureza de Schmidt** avalia a resistência à compressão uniaxial através do martelo de Schmidt posteriormente pelo ábaco proposto por Deere e Miller (1966) (**Figura 2.10**) ou pela **Equação 1.3**. Aquando da realização deste ensaio é necessário procurar superfícies o mais limpas e intactas possível para uma melhor aproximação dos resultados à realidade. Porém, é importante

Figura 3.46 - Folha de registo para trabalho de campo

Figura 3.47 - Localização dos 133 blocos rochosos registados e indicação das respectivas quatro áreas

Figura 3.48 - Folha de registo para trabalho de campo

Maiores dos 12 valores, e procedeu-se à média dos restantes. Esta metodologia foi adoptada de modo a alcançar resultados mais reais, eliminando os valores mais baixos, devido à presença de musgos ou rocha mais alterada, e valores mais elevados, derivado de fenocristais salientes na superfície.

É de salientar que dos parâmetros referidos anteriormente, o arredondamento, o centro de massa, o enraizamento/enterramento, o efeito de carga e a alteração do bloco, são adaptados com base em Águas *et al.*, (2003).

Como será óbvio, não é possível avaliar a susceptibilidade de instabilização de um bloco rochoso através de um único parâmetro, mas sim através do balanço dos diversos parâmetros. A título de exemplo, um bloco completamente arredondado, com base a descoberto, que suporta outros blocos, mas que se encontre numa base de contacto sub-horizontal, à partida poderá estar mais estável mecanicamente comparativamente a um bloco com faces e arestas bem definidas, sem qualquer efeito de carga, mas com o centro de massa fora da base de suporte, sendo esta inclinada.

A **Figura 3.16** mostra a folha de registo individual para cada bloco, onde se encontram reunidos os parâmetros registados para cada bloco rochoso *in situ*.

3.5.2. Fotografia Aérea

A comparação de fotografias aéreas de diversos anos permitiu atestar se houve algum tipo de movimentação de blocos ao longo do tempo. É de referir novamente que até à data deste trabalho, não existia qualquer tipo de inventário de movimentos na Aldeia de Monsanto.

Foram obtidos três pares de fotografias aéreas na Direcção-Geral do Território (DGT), correspondentes aos anos de 1965, 2004 e 2015. As fotografias foram obtidas em formato digital, e foram analisadas em estereoscopia no laboratório no Departamento de Geologia da FCUL.

A fotografia aérea do ano de 1965, à escala 1/15 000, ainda a preto e branco, apresenta menor qualidade e definição, tal como seria expectável. As fotografias de 2004 e 2015, à escala 1/10 000, são ambas a cores e com resolução de 0,50 cm. A qualidade e resolução das fotografias é dependente não só do voo (como altitude, vento e período do dia) como do avanço das tecnologias.

3.5.3. Levantamento Aerofotográfico

As ferramentas digitais, tais como os sistemas de informação geográfica (SIG), têm vindo a desempenhar um papel importante no desenvolvimento de novas metodologias e visualização de informação espacial e mapeamento (Santos *et al.*, 2018). O levantamento foi efectuado com recurso a um drone, em que o utilizador apenas necessita de ter acesso ao *software* adequado e à internet, usando um dispositivo móvel, como por exemplo um tablet.

Esta etapa tem como objectivo não só a criação de um ortomosaico, como também colmatar a informação de campo em locais de difícil acesso. Esta necessidade surgiu devido à carência de ortomosaicos de datas anteriores, fornecendo uma melhor perspectiva da distribuição dos blocos rochosos. Os aspectos geológicos e geomorfológicos são assim representados com maior detalhe. São também obtidos os dados *raster* de MDT e MDS.

Antes de qualquer voo executado, foi necessário definir os planos de voo. Para que o plano se realize com sucesso, as condições geológicas e geomorfológicas do terreno e as condições meteorológicas devem ser tidas em conta. Ou seja, teve-se em conta eventuais obstáculos ao

drone, tais como os próprios blocos rochosos, árvores, torres e antenas e como será expectável, ventos e chuva. É de salientar que o período do dia a que se realiza o voo faz igualmente diferença na representação e qualidade das imagens obtidas. Caso o levantamento se realize de manhã, as imagens mostram um maior contraste, com mais sombras e cores bem definidas; por outro lado, se se realizar à tarde, o contraste é menor, no entanto, as cores são mais equilibradas e com menos sombras.

Uma vez no ar, as fotografias são tiradas com pelo menos 60% de sobreposição entre elas, para que se gere um ortomosaico da área com boa correlação. Acrescenta-se ainda que as imagens são georreferenciadas, através do GPS a bordo do drone e dos alvos colocados no terreno.

Nas seguintes fases do desenvolvimento do trabalho, os produtos provenientes desta etapa, permitiram a tratamento e representação de dados em ambiente SIG.

3.5.4. Discriminação dos Blocos Rochosos

Depois de terminado o trabalho de campo e a recolha dos parâmetros geotécnicos dos blocos rochosos, é possível constatar por observação que estes não apresentam o mesmo potencial quer em termos de mobilidade estática (iniciação do movimento) quer em termos de mobilidade dinâmica (progressão do movimento).

Desta forma, é necessário proceder à discriminação de todos os blocos rochosos, face ao seu potencial de mobilidade estático e dinâmico, com base nos parâmetros geotécnicos registados *in situ* (**Tabela 3.10**). Para cada análise, estática e dinâmica, foram tidos em conta os parâmetros que intervêm no processo a avaliar. É de referir que a análise estática foi realizada para a iniciação do movimento quer tombamento quer por deslizamento, e que cada análise é independente.

Tabela 3.10 - Parâmetros de Análise Estática e Análise Dinâmica

| Análise Estática | | Análise Dinâmica |
|--------------------|--------------------|-------------------|
| Tombamento | Deslizamento | |
| Dimensão Estática | Inclinação da Base | Dimensão Dinâmica |
| Centro de Massa | Alteração da Base | Volume |
| Inclinação da Base | Rugosidade | Arredondamento |
| Efeito de Carga | Área de Contacto | Dureza de Schmidt |

Tal como referido anteriormente, todos os parâmetros foram categorizados em três classes de perigosidade crescente (1, 2 e 3) baixo, intermédio e elevado, respectivamente. Como tal, pretende-se que os blocos rochosos sejam também discriminados nestes termos. Ou seja, após a análise de cada bloco rochoso, atribuir-lhe uma das três classes de perigosidade.

Posto isto, surge neste trabalho a classificação ascendente hierárquica (CAH) que consiste em agrupar amostras similares, através de critérios de similitude ou distância. Cada amostra, neste caso específico bloco rochoso, constitui um grupo ou *cluster* individual; todas as amostras com características similares, neste caso os parâmetros, são agrupadas sucessivamente.

Como se pretende agrupar os blocos rochosos em três classes, foi necessário criar três arquétipos de referência, cada um respectivo a cada classe de perigosidade. O arquétipo de classe 1 (“**baixo**”), com todos os parâmetros classe 1; o arquétipo de classe 2 (“**intermédio**”), com todos os parâmetros classe 2; e o arquétipo de classe 3 (“**elevado**”), com todos os parâmetros classe 3.

Estes arquétipos de referência foram adicionados ao restante conjunto de amostras iniciais, e é a partir destes arquétipos que os blocos rochosos são progressivamente agrupados.

Uma vez que todos os parâmetros considerados nas análises são do tipo categórico ordinal, foi selecionado um índice que permite determinar a distância ou similitude entre cada amostra aos três arquétipos de referência (Johnson e Wichern, 1982). Este índice é designado por distância de *Jaccard* o seu valor varia entre 0 (distância mínima/máxima similitude) e 1 (distância máxima/mínima similitude).

A distância entre um arquétipo (*a*) e um bloco (*b*), representados cada um por um vector de *n* variáveis (parâmetros) do tipo categórico ordinal (1, 2 e 3), é calculada pela seguinte **Equação 3.1**:

$$Distância\ Jaccard = \frac{\sum_{i=1}^n x_{a_i} + \sum_{i=1}^n x_{b_i} - 2 \sum_{i=1}^n \min(x_{a_i}, x_{b_i})}{\sum_{i=1}^n x_{a_i} + \sum_{i=1}^n x_{b_i} - \sum_{i=1}^n \min(x_{a_i}, x_{b_i})} \quad [3.1]$$

em que:

n – n° de parâmetros

a – classe arquétipo

b – classe do parâmetro do bloco

No fim de cada análise, a cada amostra ou bloco rochoso será atribuída uma classe (1, 2 ou 3), correspondente ao arquétipo com qual apresenta maior similitude (menor distância de *Jaccard*).

• Análise Estática para Tombamento

Como já referido na **Tabela 3.10**, os parâmetros que intervêm na iniciação do movimento por tombamento são:

- dimensão estática;
- posição do centro de massa;
- inclinação da base de contacto;
- efeito de carga.

Destes quatro parâmetros, a dimensão estática e a inclinação da base não se encontravam categorizados nas 3 classes de perigosidade (1, 2 e 3) durante o levantamento de campo. Para calcular a distância de *Jaccard*, todos os parâmetros devem estar categorizados.

A dimensão estática constitui um indicador do potencial de um bloco rochoso iniciar o seu movimento por tombamento, devido à sua forma geométrica (**Figura 2.7**). Para tal, é tido em conta a relação entre a altura *Z* e a dimensão segundo o plano inclinado *Y*. Para categorizar este ratio em uma das três classes, estabeleceu-se que:

- quando $(Z/Y) \leq 1$, atribui-se classe 1, as dimensões *Z* e *Y* são semelhantes, conferindo maior estabilidade ao bloco;
- quando $(Z/Y) \geq 2$, atribui-se classe 3, a dimensão *Z* é mais que o dobro da dimensão *Y*, conferindo menor estabilidade ao bloco, por perda de equilíbrio;
- quando $1 < (Z/Y) < 2$, atribui-se classe 2.

Como referido anteriormente em **2.2** um aumento da inclinação da base contribui também para a ocorrência de tombamento. Quanto à inclinação da base de contacto com o bloco rochoso (*i*), foi definido que:

- quando $i < 15^\circ$, atribui-se classe 1;
- quando $i \geq 30^\circ$, atribui-se classe 3;
- quando $15^\circ \leq i < 30^\circ$, atribui-se classe 2.

Após estas atribuições, já se encontram reunidas as condições para a aplicação imediata da distância de *Jaccard*, para a hierarquização dos blocos em termos de seu potencial de iniciar movimento por tombamento.

• Análise Estática para Deslizamento

Como já referido na **Tabela 3.10**, os parâmetros que intervêm na iniciação do movimento por deslizamento são:

- inclinação da base de contacto;
- alteração da base de contacto;
- rugosidade;
- área de contacto.

Para que o deslizamento ocorra a inclinação da base tem de ser superior ao ângulo de atrito, tal como referido anteriormente em **2.2**.

Inicialmente foi dado o mesmo peso a estes quatro parâmetros, sendo a distância de *Jaccard* calculada directamente a partir deste conjunto de parâmetros. Porém, rapidamente se notou que tal abordagem era desequilibrada, uma vez que três parâmetros estão associados à resistência disponível e apenas um (inclinação da base) à acção; A título de exemplo, se um bloco rochoso com parâmetros desfavoráveis para a base (base alterada, com baixa rugosidade e baixa percentagem de área de contacto) apresentaria quase certamente classe 3 ainda que a inclinação da base de contacto seja nula. Em suma, quando comparados os parâmetros de resistência com a inclinação da base, os resultados iniciais estavam sobrevalorizados, resultando em blocos rochosos com classe de perigosidade 3, não totalmente reais ou expectáveis.

Assim, para esta análise optou-se por se aplicar a distância de *Jaccard* para hierarquizar as condições da base dos blocos, em termos da resistência disponível, em três classes. Para este cálculo intervêm os parâmetros alteração da base, rugosidade e área de contacto.

Para a atribuição de uma classe de potencial de iniciação de movimento por deslizamento considerou-se que, quando a inclinação da base do bloco é inferior a 15° ($i < 15^\circ$), o bloco rochoso não entrará em movimento por deslizamento sendo-lhe por isso atribuída a classe 1 independentemente da classe de resistência disponível. Para as restantes situações possíveis, o bloco rochoso poderá pertencer a uma das três classes de potencial de iniciação de movimento por deslizamento, em função da classe de resistência disponível e o valor da inclinação da base, de acordo com a matriz dada pela **Tabela 3.11**.

Tabela 3.11 – Matriz para atribuição de classe de potencial de iniciação do movimento por deslizamento, tendo em conta a inclinação da base e a classe de resistência disponível na base

| | $i (^\circ)$ | | | |
|---|--------------|---------|---------|------|
| | < 15 | 15 - 20 | 20 - 30 | > 30 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 |
| 3 | 1 | 2 | 3 | 3 |

A partir das condições definidas na **Tabela 3.11**, as classes atribuídas a cada bloco rochoso são mais adequadas e próximas da realidade.

- **Análise Dinâmica**

Como já referido na **Tabela 3.10**, os parâmetros que intervêm na progressão do movimento são:

- dimensão dinâmica;
- volume;
- arredondamento;
- dureza de Schmidt.

Dos parâmetros tidos em conta nesta análise, é necessário categorizar nas três classes de perigosidade (1, 2 e 3) o parâmetro da dimensão dinâmica, volume e dureza de Schmidt.

A dimensão dinâmica constitui um indicador da facilidade de progressão do movimento do bloco, uma vez ultrapassada a situação estática. A determinação da dimensão dinâmica é efectuada através da relação das dimensões X' , Y' e Z' do bloco rochoso:

- quando $Z' < [(X' + Y')/2] / 1,5$ atribui-se classe 1, o bloco apresenta uma forma tabular.
- quando $Z' \geq 1,5 [(X' + Y')/2]$ atribui-se classe 2;
- quando $Z' \approx [(X' + Y')/2]$ atribui-se classe 3, em que as dimensões do bloco são equidimensionais.

Em que X' é a dimensão mínima entre as dimensões (X, Y, Z); Z' é a dimensão máxima entre as dimensões (X, Y, Z) e Y' é a dimensão intermédia.

No que diz respeito ao volume do bloco rochoso, este é obtido de uma forma conservativa (por excesso), pelo produto das dimensões do bloco segundo os três eixos ortogonais (X, Y e Z). Para categorizar o volume (V) em uma das três classes, estabeleceu-se que:

- quando $V \leq 50 \text{ cm}^3$, atribui-se classe 1;
- quando $V \geq 200 \text{ cm}^3$, atribui-se classe 3;
- quando $50 \text{ cm}^3 < V < 200 \text{ cm}^3$, atribui-se classe 2.

O volume foi desta forma definido tendo em conta as dimensões dos blocos inventariados e considerando que um bloco rochoso com as três dimensões aproximadamente de 6 m, seria considerado um bloco de grandes dimensões (classe 3), e um bloco rochoso com as três dimensões inferiores a 4 m, seria um bloco de menores dimensões.

Esta atribuição de classes, tem em conta que um bloco de maiores dimensões tem maior facilidade em ultrapassar pequenos obstáculos ao longo da encosta e tem um maior potencial de dano.

Quanto à dureza de Schmidt, para esta análise, apenas se têm em conta os ressaltos do martelo medidos nos blocos rochosos. É de referir que não é a dureza de Schmidt que se introduz no cálculo da distância de *Jaccard*, é seu valor traduzido em termos de resistência à compressão uniaxial ou JCS. Este parâmetro foi obtido através da **Equação 2.3**. O peso volúmico do granito

varia de 26 a 27 kN/m³ (Vallejo, 2002; Rocha, 2013), tendo sido considerado um peso volúmico para granito alterado de 25 kN/m³.

A **Tabela 3.11** apresenta uma compilação de valores de resistência à compressão uniaxial, adaptados de Rocha (2013).

Tabela 3.12 - Resistência à compressão uniaxial em MPa (adaptado de Rocha, 2013)

| Resistência à Compressão Uniaxial (MPa) | | | |
|---|-------|---------------------------------|----------|
| Granito São | 118,0 | Granitos Sãos | 70 - 250 |
| Granito Alterado | 35,0 | Granitos Medianamente Alterados | 10 - 70 |
| Granito Muito Alterado | 13,9 | Granitos Decompostos | 1,5 - 10 |

Tendo em conta os valores de resistência à compressão uniaxial presentes na **Tabela 3.12**, o parâmetro *JCS* foi categorizado da seguinte forma:

- quando $JCS \leq 25$ MPa, atribui-se classe 1;
- quando $JCS \geq 70$ MPa, atribui-se classe 3;
- quando $20 \text{ MPa} < JCS < 70$ MPa, atribui-se classe 2.

Esta atribuição de classes tem em consideração que um bloco com fracas características resistentes (baixo *JCS*) tem grande propensão a fragmentar-se quando em movimento. Nesta análise, do ponto de vista da segurança e do alcance do bloco rochoso, a situação mais vantajosa é a sua fragmentação. Desta forma o bloco perde energia e velocidade a cada impacto, diminuindo o seu alcance máximo comparativamente à situação em que não se fragmentaria.

Após estas atribuições, já se encontram reunidas as condições para a aplicação da distância de *Jaccard* para a hierarquização dos blocos em termos do seu potencial de iniciação de movimento (por deslizamento e tombamento) bem como o seu potencial para o movimento progredir.

4. Resultados e Discussão

Este capítulo descreve os resultados obtidos em cada etapa de trabalho e apresenta em simultâneo a sua discussão. A apresentação dos resultados segue a mesma sequência do subcapítulo 3.5.

4.1. Trabalho de Campo

Foram realizadas no total 6 saídas de campo, com duração média de três dias cada. As saídas foram compreendidas no período de Janeiro a Outubro de 2018. Esta etapa foi fortemente influenciada pelas condições meteorológicas, logística de transporte e estadia.

Do levantamento em campo resultou um total de **133** blocos registados. Todos os blocos foram inventariados de forma exaustiva, incluindo fotos de diferentes vistas, condições na base de contacto, efeito de carga, entre outras características a assinalar (**Anexo 1**).

É de salientar algumas restrições que se fizeram sentir, tais como, presença de mato denso e outras espécies arbustivas, cercas e vedações de propriedades privadas, acessos íngremes e pouco seguros, caos de blocos, etc. Estes factores impediram o levantamento de um número superior de blocos e causaram dificuldades na atribuição de diversos parâmetros. Aos blocos a que não foi possível determinar as suas dimensões, as mesmas foram posteriormente estimadas com base na visualização do ortomosaico. Aos blocos em que não foi possível realizar o ensaio com o martelo de Schmidt, atribuiu-se o valor médio do ressalto (r) respectivo de cada grau de alteração, tendo em conta todos os ensaios realizados nos blocos rochosos.

Blocos soltos de dimensões reduzidas e outros sem qualquer sinal de perigosidade comparativamente a todos os outros, não foram registados. Encontram-se nesta situação blocos rochosos situados em superfícies aplanadas e com vegetação circundante e blocos rochosos cujo movimento não representa qualquer perigo para populações e bens, por se encontrarem em locais afastados da área urbana.

Todos os blocos rochosos registados foram devidamente assinalados e identificados no ortomosaico resultante do levantamento com o drone (**secção 4.3**) utilizando o *software* ArcMap. Por uma questão de organização e optimização, a área de estudo, foi sub-dividida em quatro áreas (**Figura 4.1**). Foram gerados cinco mapas distintos (**Anexo 2**), um mapa geral com todos os blocos rochosos, e quatro mapas, respectivos de cada área.

A **Área 1**, no extremo NE da área de estudo. A **Área 2**, na zona central, acima do caminho principal de acesso ao castelo. A **Área 3**, no extremo SW da área em estudo, maioritariamente abaixo do caminho principal de acesso ao castelo. E por último a **Área 4**, na zona central, com os blocos rochosos dispersos pelas ruas e habitações. Pela observação de cada área, pode-se constatar que a área menos preocupante é a Área 3, uma vez que não contém caminhos turísticos e habitações que possam ser afectados pelo movimento dos blocos; a Área 1 e a Área 2 abrangem os blocos rochosos que pela sua localização têm o potencial para atingir o centro da aldeia, onde se situam as ruas principais, habitações e estabelecimentos comerciais, escola primária e posto da GNR. Para além disso, os blocos rochosos situados a cotas mais altas, uma vez iniciado o seu movimento, podem condicionar a estabilidade e induzir movimento a outros blocos rochosos situados a cotas inferiores.

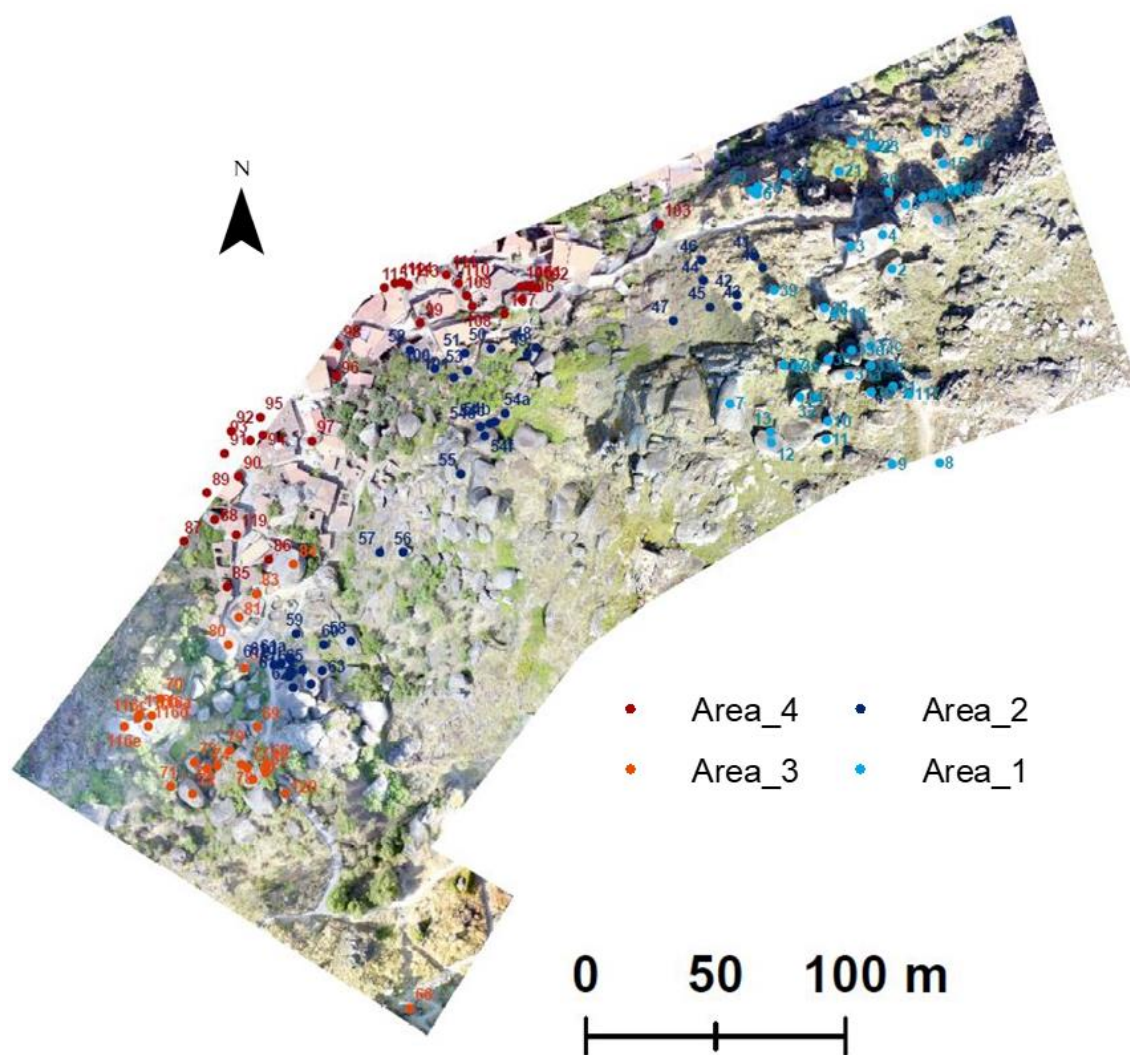


Figura 4.1 - Localização dos 133 blocos rochosos registados e indicação das respectivas quatro áreas

No decorrer desta etapa foram observadas as mais diversas situações de blocos rochosos. São exemplos de algumas dessas situações mais comuns as seguintes:

- Blocos em conjuntos, ou seja, dois ou mais blocos amontoados, como é o caso dos Penedos Juntos de Baixo (**Anexo 1**, Área 1, blocos 3 e 4), Penedos Juntos de Cima (**Anexo 1**, Área 1, blocos 33), blocos 71 e 72 e blocos 73 e 74 (**Anexo 1**, Área 3);
- blocos suspensos, ou seja, blocos rochosos que se encontram suspensos por outros blocos rochosos, com pouco ou nenhum contacto com a superfície topográfica. São exemplos desta situação os blocos 54f, 61d, 64 (**Anexo 1**, Área 2) e 77 (**Anexo 1**, Área 3). A estabilidade destes blocos é condicionada pela estabilidade que lhes servem de suporte;
- blocos rochosos inseridos em habitações, como é caso por exemplo dos blocos 84 (**Anexo 1**, Área 3), 85, 93 e 119 (**Anexo 1**, Área 4). Estes blocos são recorrentemente usados como paredes, telhados ou terraços;
- blocos rochosos no caminho de acesso principal ao castelo, tais como, 59, 61 (**Anexo 1**, Área 2) e 66, 67, 68, 69, 80 e 81 (**Anexo 1**, Área 3);

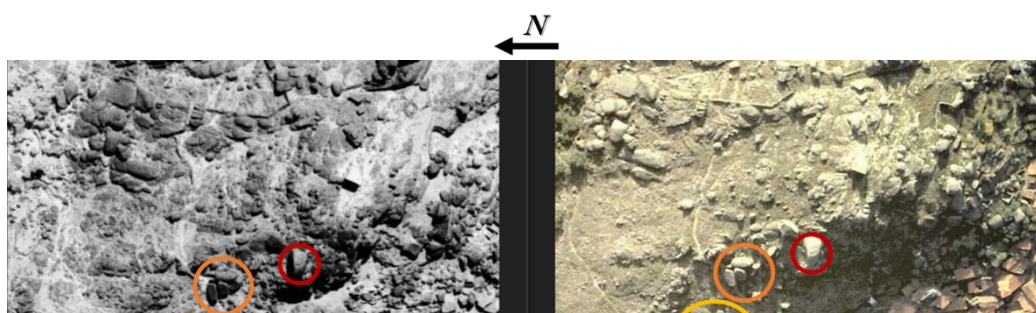
- blocos rochosos com tentativas de contenção por parte dos habitantes, seja com blocos de menores dimensões, por vezes com aplicação de cimento, troncos de madeira, *etc.* Podendo ser observado nos blocos 15, 22, 27 (**Anexo 1**, Área 1), 72, 81 (**Anexo 1**, Área 3) e 112 (**Anexo 1**, Área 4);
- blocos rochosos com bases de contacto em situações bastante desfavoráveis e preocupantes, como por exemplos os blocos 2, 3, 12, 31, 33b, 33c, 35 (**Anexo 1**, Área 1), 54e, 54f, 60, 61a, 61e, 61d (**Anexo 1**, Área 2), 66, 68, 69, 72, 79, 84 (**Anexo 1**, Área 3) e 85, 89, 112 (**Anexo 1**, Área 4);
- blocos rochosos menos preocupantes, de menores dimensões ou situados em locais aplanados, como por exemplo, 16, 17, 18 (**Anexo 1**, Área 1), 42 e 45 (**Anexo 1**, Área 2);
- blocos rochosos sem acesso físico possível, nomeadamente os blocos 10, 11 (**Anexo 1**, Área 1), 55, 64 (**Anexo 1**, Área 2) e 87 (**Anexo 1**, Área 4);
- blocos de dimensões elevadas, em comparação com os restantes registados, tal como o Penedo do Meio Dia (**Anexo 1**, Área 1, bloco 7) e o Penedo do Pé Calvo (**Anexo 1**, Área 3, bloco 116);
- blocos rochosos adaptados a anexos, estruturas para animais e depósitos de lixeira, devido à pequena percentagem de aderência com a superfície de contacto. Tal como por exemplo, os blocos 50 (**Anexo 1**, Área 2), 90 e 112 (**Anexo 1**, Área 4).

Em suma, tendo em conta os parâmetros registados no campo, verificam-se blocos rochosos de variadas dimensões, com dimensões superiores a 10 m ou dimensões inferiores a 4m; diversas formas, desde totalmente arredondados, todas as faces bem definidas ou blocos rochosos com formas bastante mais irregulares. Relativamente ao enraizamento, a grande maioria dos blocos apresenta a sua base de contacto totalmente a descoberto, com rugosidades semelhantes em todos os blocos rochosos, nomeadamente com JRC entre 10 e 14. Quanto ao grau de alteração, os blocos rochosos são na sua maioria são a pouco alterados e menos frequentemente alterados, porém, as suas bases de contacto são francamente mais alteradas, verificando-se bases muito alteradas e decompostas. Verifica-se também situações de blocos rochosos que servem de suporte a um ou mais blocos em simultâneo, de maiores ou menores dimensões.

4.2. Fotografia Aérea

Foi realizada análise estereoscópica sobre três pares de fotografias aéreas dos anos de 1965, 2004 e 2015, obtidas na DGT. Infelizmente, a análise estereoscópica das três datas não deu origem a resultados proveitosos. É de salientar que as seguintes, **Figuras 4.2** e **4.3**, apenas mostram a título de exemplo comparação dos Penedos Juntos e o Penedo do Meio Dia. Contudo, a análise estereoscópica foi realizada em toda a área de estudo para as três datas.

A comparação da fotografia de 1965 e de 2004 (**Figura 4.2**), não permitiu ver com clareza determinados locais quer devido à baixa definição quer à existência de sombras.



A comparação da fotografia de 2004 e 2015 (**Figura 4.3**), apesar de ter sido executada com maior facilidade e terem sido identificados todos os pontos comuns, não tem escala e definição suficientes para permitir a visualização de movimentos de blocos da ordem dos milímetros ou centímetros, que possam hipoteticamente ter ocorrido. Caso tivessem ocorrido movimentos mais extensos, deveriam ter sido detectados nesta análise.



Figura 4.7 - Análise de fotografia aérea 2004 e 2015, respectivamente. A vermelho o Penedo do Meio Dia, a laranja os Penedos Juntos de Cima e a amarelo os Penedos Juntos de Baixo

Figura 4.8 - Análise de fotografia aérea 2004 e 2015, respectivamente. A vermelho o Penedo do Meio Dia, a laranja os Penedos Juntos de Cima e a amarelo os Penedos Juntos de Baixo

Assim, não é possível afirmar se ocorreram ou não movimentos de blocos no passado através da análise da fotografia aérea. Os blocos de maiores dimensões e mais emblemáticos, tais como, o “Penedo do Meio Dia”, “Penedo do Pé Calvo” e “Penedos Juntos”, entre outros, parecem não ter sofrido movimentos desde tempos históricos. Contudo, os blocos de menores dimensões, caso se tenham de alguma forma movimentado minimamente, tal é difícil de detectar através da

fotografia aérea. Da análise das três datas, verifica-se que a distribuição dos blocos no *inselberg* aparenta exibir poucas diferenças.

Em suma, esta dificuldade está directamente relacionada com a data e cor da fotografia (como é o caso de 1965) e com sua escala e resolução. Apesar de a fotografia aérea de 2015 ser a de melhor qualidade, a escala não é favorável para a análise pretendida. Esta comparação exige uma atenção muito cuidada e pormenorizada, que com uma escala menos apropriada não será facilitada. Na **Figura 4.4** apresentam-se as três fotografias aéreas, da mais antiga para a mais recente, respectivamente; a vermelho limita-se aproximadamente o *inselberg*, e a amarelo a área de estudo. Tal como se pode observar, é uma área muito restrita e com bastante pormenor devido ao intenso caos de blocos, em fotografias à escala 1/15 000 (1965) e 1/10 000 (2004 e 2015).

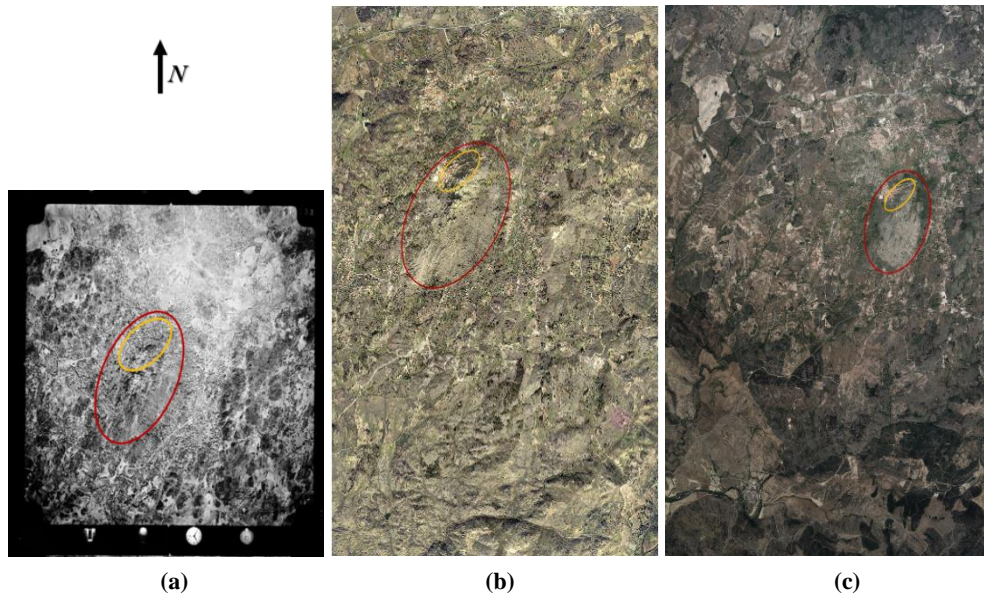


Figura 4.10 - Fotografias Aéreas, a vermelho a limitação do *inselberg* e a amarelo a área de estudo. (a) 1965; (b) 2004; (c) 2015

4.3.1 **Figura 4.11** – Planos de voo realizados **Figura 4.12** - Fotografias Aéreas, a vermelho a limitação do *inselberg* e a amarelo a área de estudo. (a) 1965; (b) 2004; (c) 2015

O levantamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da FCUL. Este levantamento foi efectuado no decorrer do trabalho de campo.

Antes de cada voo, é imprescindível ter conhecimento de toda a área a tratar para posteriormente serem definidos os planos de voo necessários.

De modo a abranger a área pretendida, foi necessário dividir a área total em áreas menores. As áreas foram delimitadas tendo em consideração a autonomia de cada voo efectuado pelo drone, aproximadamente 30 minutos, e tendo em conta também a localização dos possíveis pontos de controlo.

Estes pontos de controlo traduzem-se no campo por alvos, georreferenciados com auxílio de um DGPS. Estes alvos foram colocados em pontos estratégicos, de modo a serem visíveis nas imagens captadas pelo drone. Alguns destes pontos de controlo, definidos para cada área, coincidem propositadamente com os pontos de controlo das áreas vizinhas. A sobreposição de imagens e de pontos de controlo é importante e de certo modo imperativa, visto que permite uma maior resolução e um menor erro no produto final.

A partir deste levantamento foi possível gerar um MDT, um MDS, um ortomosaico e as curvas de nível.

A **Tabela 4.1** apresenta uma síntese final do processamento de dados.

Tabela 4.1 - Detalhes de processamento de dados

| | |
|--|-----------------------------------|
| Número de Voos | 6 |
| Número de Pontos de Controlo | 16 |
| Número de Imagens Georreferenciadas | 1206 |
| Área Total Abrangida | 0,272 km ² / 27,238 ha |
| Resolução Ortomosaico | 3,03 cm/pixel |
| Erro RMS | 0,065 m |
| Sistema de Coordenadas | ETRS 1989 Portugal TM 06 |

Foram definidas seis áreas distintas, e como tal 6 planos de voo, abrangendo uma área total de 0,272 km².

A **Figura 4.5** indica os diferentes planos de voos, não necessariamente pela ordem que foram realizados.

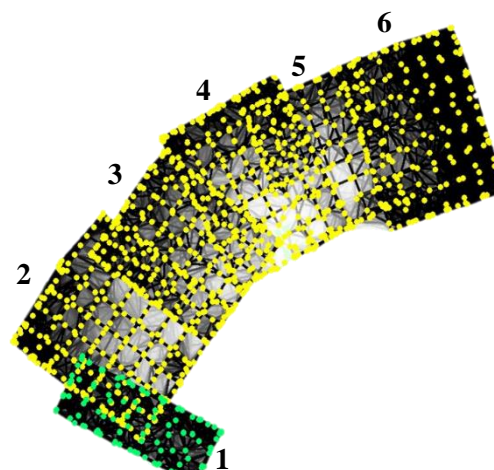


Figura 4.14 – Planos de voo realizados

Figura 4.15 – Planos de voo realizados

A **Figura 4.6** ilustra o número de imagens sobrepostas por pixel, captadas nos seis voos executados (**Figura 4.5**). Estas imagens permitem gerar um ortomosaico de boa resolução.

As regiões a vermelho e a amarelo apresentam baixa sobreposição, traduzindo-se em resultados pobres. Estas ocorrem em zonas periféricas à zona alvo de estudo. As áreas a verde indicam uma sobreposição superior a cinco imagens por pixel, promovendo resultados de boa qualidade.

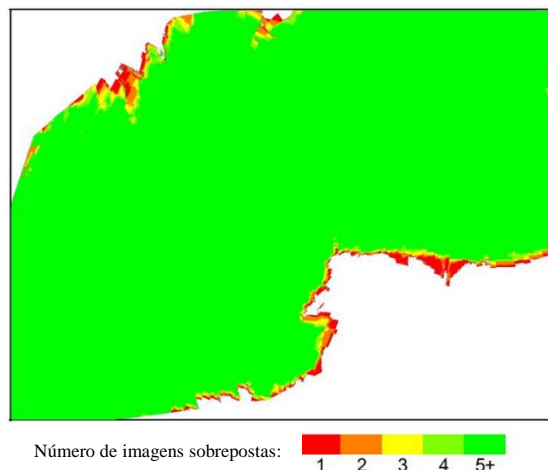


Figura 4.17 - Número de imagens sobrepostas por pixel, para a construção do Ortomosaico

Figura 4.18 - Número de imagens sobrepostas por pixel, para a construção do Ortomosaico

A ortomosaico gerado após todo o processamento de dados é ilustrado na **Figura 4.7**. Este ortomosaico pode ser consultado com maior pormenor no **Anexo 3**.

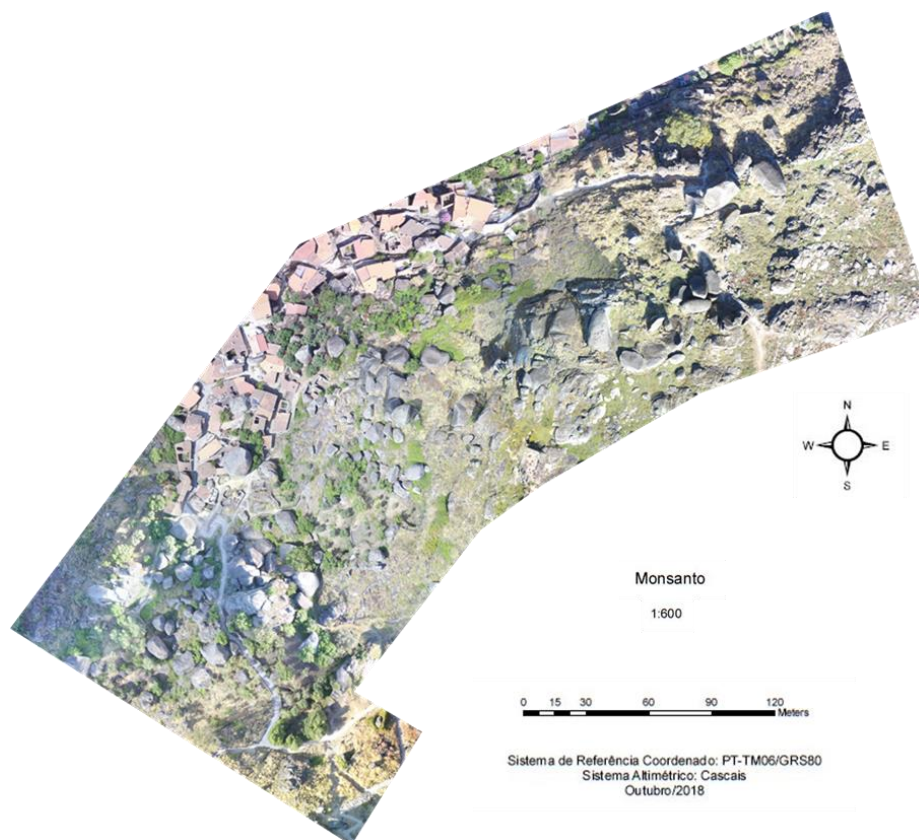


Figura 4.19 - Ortomosaico final

Figura 4.20 - Combinação do Índice de Perigosidade para a análise estática por tombamento e análise dinâmica
Figura 4.21 - Ortomosaico final

4.4. Discriminação dos Blocos Rochosos

Este subcapítulo tem como início a apresentação dos resultados gerais, seguida da discriminação dos blocos rochosos face ao seu potencial estático (iniciação do movimento) e potencial dinâmico (progressão do movimento). Após esta análise, são apresentados os blocos rochosos distribuídos pelas diversas áreas que constituem a área de estudo, de acordo com a discriminação efectuada.

- **Resultados Gerais**

Na **Tabela 4.2** constam os resultados da classificação ascendente hierárquica, através da distância de *Jaccard*, dos 133 blocos catalogados, em três classes de perigosidades crescente (1, 2 e 3), em termos do seu potencial estático e dinâmico. É possível consultar no **Anexo 4**, a distância *Jaccard* para cada análise.

À classe 1 correspondem blocos rochosos com características geotécnicas mais favoráveis, e por isso de menor susceptibilidade à iniciação e progressão do movimento. À classe 3 pertencem os blocos rochosos com piores características geotécnicas e mais susceptíveis à iniciação e progressão do movimento. Sendo a classe 2 considerada a classe intermédia.

No **Anexo 5**, é possível consultar os mapas que contém o índice de perigosidade estático (tombamento e deslizamento) e dinâmico, assim como combinação do índice de perigosidade estático e dinâmico. Estes mapas permitem ver a distribuição por índices de perigosidade de todos os blocos rochosos.

A partir da **Tabela 4.2**, pode constatar-se:

Tabela 4.2 - Classificação ascendente hierárquica dos blocos rochosos em situação estática e dinâmica

| | | Análise Estática | | Análise Dinâmica |
|---------------------|---|------------------|--------------|------------------|
| | | Tombamento | Deslizamento | |
| Classe Perigosidade | 1 | 62 | 39 | 0 |
| | 2 | 43 | 25 | 100 |
| | 3 | 28 | 69 | 33 |
| | | | | |
| | | | | Total 133 |

- no que concerne à **análise estática para tombamento**, verifica-se que 21% dos blocos rochosos (28) foram classificados com classe 3, sendo estes os mais expectáveis de iniciar o seu movimento por tombamento. Porém, 47% dos blocos rochosos (62) apresentam classe 1 na sua situação estática, isto é, baixo potencial de iniciação do movimento por tombamento. Os blocos rochosos com potencial intermédio de iniciação perfazem 32%.

- no que diz respeito à **análise estática para deslizamento**, verifica-se que mais de 50% dos blocos rochosos (69) foram classificados com classe 3, sendo estes os mais expectáveis de iniciar o seu movimento por deslizamento. Contudo, 30% dos blocos rochosos (39) foram apresentados classe 1, ou seja, baixo potencial de iniciação do movimento por deslizamento. Os blocos rochosos com potencial intermédio de iniciação perfazem apenas 19%.

- quanto à **análise dinâmica**, não foram classificados quaisquer blocos rochosos com classe 1, ou seja, não se verificam blocos rochosos com baixo potencial de progressão do movimento. Estes blocos rochosos seriam os expectáveis de percorrer menores extensões na sua trajectória. No entanto, cerca de 75% dos blocos rochosos (100), apresentam um potencial intermédio, sendo que os restantes 25% (33) blocos rochosos apresentados foram classificados com classe 3. Contrariamente aos blocos com baixo potencial de progressão, estes blocos rochosos são mais aptos a percorrer maiores extensões na sua trajectória, devido ao potencial de progressão elevado.

• **Análise Estática para Tombamento versus Análise Dinâmica**

Do ponto de vista da iniciação do movimento por tombamento e sua progressão, a **Tabela 4.3** mostra que:

Tabela 4.3 - Discriminação dos blocos rochosos em termos de análise estática para tombamento e análise dinâmica

| | | Análise Dinâmica | | |
|----------------------------------|---|------------------|-----|------------------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Análise Estática para Tombamento | 1 | 0 | 48 | 14 |
| | 2 | 0 | 31 | 12 |
| | 3 | 0 | 21 | 7 |
| | | 0 | 100 | 33 |
| | | | | Total 133 |

- sete blocos rochosos foram classificados como classe 3 para ambas as análises, apresentando simultaneamente elevado potencial de iniciação do movimento por tombamento e elevado potencial para a progressão do movimento. São considerados os blocos rochosos mais problemáticos na área de estudo. Considera-se que estes blocos têm potencialmente associada uma perigosidade elevada, e devem ser alvo de estudos de pormenor;

- vinte e um blocos rochosos foram classificados com classe 3 do ponto de vista estático e com classe 2 do ponto de vista dinâmico. Estes blocos apresentam elevado potencial de iniciação do

movimento, no entanto um potencial intermédio para a sua progressão. Considera-se que estes blocos têm potencialmente associada uma perigosidade elevada, e devem também ser alvo de estudos de pormenor;

- doze blocos rochosos foram classificados com classe 2 do ponto de vista estático e com classe 3 do ponto de vista dinâmico. Estes blocos apresentam potencial intermédio de iniciação do movimento e um elevado potencial no que diz respeito à sua progressão. Considera-se que estes blocos têm potencialmente associada uma perigosidade elevada, e devem também ser alvo de estudos de pormenor;

- quarenta e oito blocos rochosos apresentam classe 1 para a situação estática e classe 2 para a situação dinâmica. Estes blocos representam um potencial baixo de iniciação do movimento por tombamento e um potencial intermédio para a sua progressão. Consideram-se os menos problemáticos na área de estudo, associados a uma perigosidade potencialmente baixa;

- trinta e um blocos rochosos foram classificados com classe 2 do ponto de vista estático e do ponto de vista dinâmico. E catorze blocos rochosos foram classificados com classe 1 do ponto de vista estático e com classe 3 do ponto de vista dinâmico. Deste modo, são os blocos com potencial intermédio de perigosidade associada.

A **Figura 4.8** representa graficamente para cada bloco rochoso, o índice de perigosidade da combinação da análise estática para tombamento e análise dinâmica.

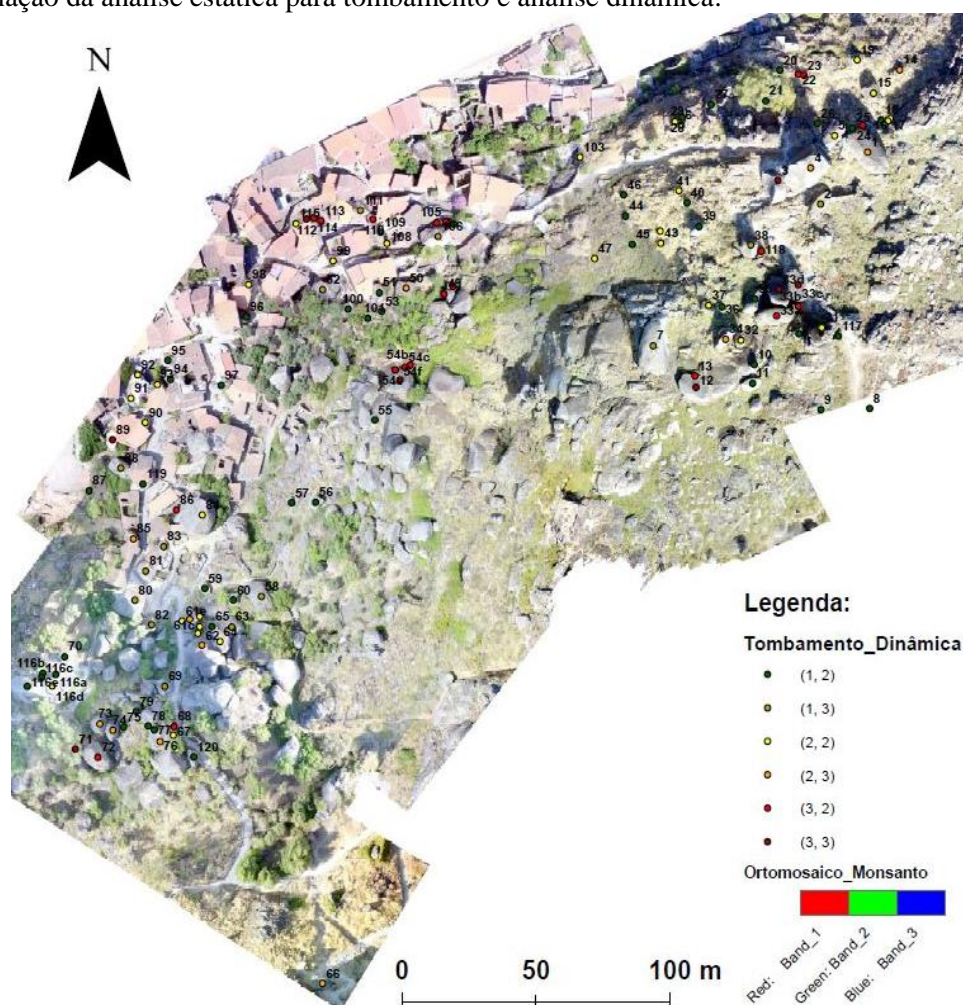


Figura 4.22 - Combinação do Índice de Perigosidade para a análise estática por tombamento e análise dinâmica

- **Análise Estática para Deslizamento versus Análise Dinâmica**

Do ponto de vista da iniciação do movimento por deslizamento e sua progressão, a **Tabela 4.4** mostra que:

Tabela 4.4 - Discriminação dos blocos rochosos em termos de análise estática para deslizamento e análise dinâmica

| | | Análise Dinâmica | | | |
|------------------------------------|---|------------------|-----|----|------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| Análise Estática para Deslizamento | 1 | 0 | 29 | 10 | 39 |
| | 2 | 0 | 21 | 4 | 25 |
| | 3 | 0 | 50 | 19 | 69 |
| | | 0 | 100 | 33 | Total 133 |

- dezanove blocos rochosos foram classificados com classe 3 para ambas as análises, apresentando elevado potencial de iniciação do movimento por deslizamento e elevado potencial para a progressão do movimento. São os blocos rochosos mais problemáticos na área de estudo. Considera-se que estes blocos têm potencialmente associado uma perigosidade elevada, e devem ser alvo de estudos de pormenor;

- cinquenta blocos rochosos foram classificados com classe 3 do ponto de vista estático e com classe 2 do ponto de vista dinâmico. Estes blocos apresentam elevado potencial de iniciação do movimento, no entanto um potencial intermédio para a sua progressão. Considera-se que estes blocos têm potencialmente associada uma perigosidade elevada, e devem também ser alvo de estudos de pormenor;

- apenas 4 blocos rochosos foram classificados com classe 2 do ponto de vista estático e com classe 3 do ponto de vista dinâmico. Estes blocos apresentam potencial intermédio de iniciação do movimento e um elevado potencial no que diz respeito à sua progressão. Considera-se que estes blocos têm potencialmente associada uma perigosidade elevada, e devem também ser alvo de estudos de pormenor;

- vinte e nove blocos rochosos, apresentam classe 1 para a situação estática e classe 2 para a situação dinâmica. Estes blocos representam um potencial baixo de iniciação do movimento por deslizamento e um potencial intermédio para a sua progressão. Consideram-se os menos problemáticos na área de estudo com uma perigosidade associada potencialmente baixa;

- vinte e um blocos rochosos foram classificados com classe 2 do ponto de vista estático e do ponto de vista dinâmico. E dez blocos rochosos foram classificados com classe 1 do ponto de vista estático e com classe 3 do ponto de vista dinâmico. Deste modo, são os blocos com potencial intermédio de perigosidade associada.

A **Figura 4.9** representa graficamente para cada bloco rochoso, o índice de perigosidade da combinação da análise estática para deslizamento e análise dinâmica.

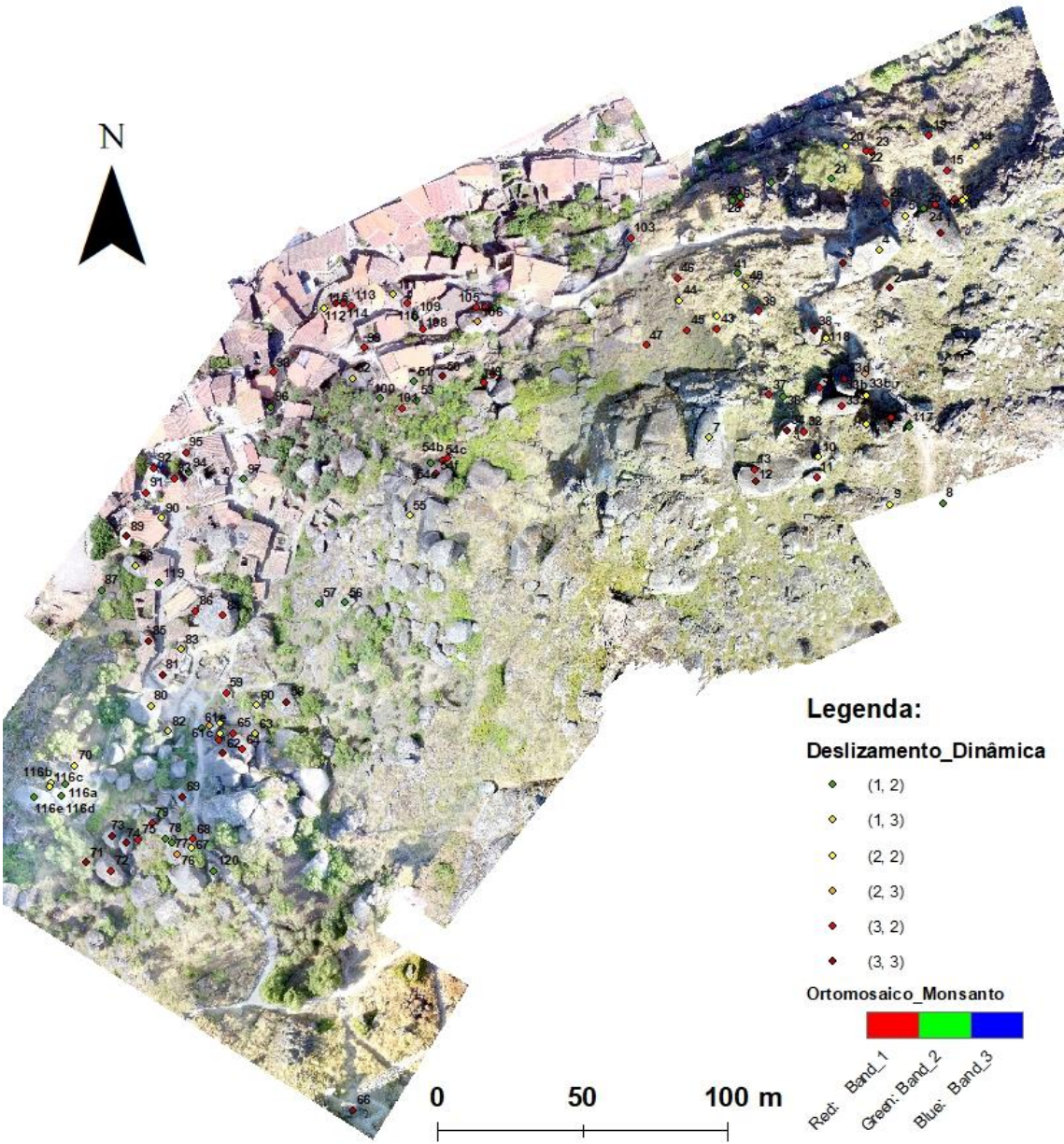


Figura 4.25 - Combinação do Índice de Perigosidade para a análise estática por deslizamento e análise dinâmica

Figura 4.26 - Alcances MáximosFigura 4.27 - Combinação do Índice de Perigosidade para a análise estática por deslizamento e análise dinâmica

5. Análise de Trajectórias

Este último capítulo final, que marca a fase final da dissertação, corresponde à avaliação preliminar do risco associado à instabilização dos blocos rochosos. Ou seja, pretendeu-se avaliar a extensão da trajectória de alguns blocos rochosos quando iniciado o seu movimento.

Este capítulo compreende a descrição breve do método de análise (*software*) utilizado, seguido do critério aplicado para a selecção dos blocos rochosos analisados e por fim a discussão dos resultados obtidos associados aos elementos em risco.

5.1. Método de Análise

Uma vez iniciado o movimento, o factor mais importante que controla a trajectória dos blocos é a geometria do talude (Hoek, 2007). O tamanho e a forma dos blocos, o coeficiente de atrito da superfície do talude e a possibilidade de fragmentação, são também factores influenciadores, no entanto de menor importância.

A superfícies limpas e de menor alteração (sãs) conduzem a trajectórias mais extensas comparativamente a superfícies alteradas ou revestidas com material arbustivo. Neste último caso, é absorvida uma maior quantidade de energia do bloco em movimento, levando a uma terminação mais rápida do movimento. A capacidade de retardamento da superfície numa trajectória de saltação é denominada pelo coeficiente de restituição e o seu valor depende da natureza e do estado dos materiais constituintes da superfície de impacto (Hoek, 2007).

O coeficiente de restituição é o parâmetro de maior influência na trajectória de um bloco em saltação. Este parâmetro controla a perda de velocidade e energia quando um bloco rochoso impacta na superfície do talude. Este coeficiente divide-se em duas componentes: o coeficiente de restituição normal (R_N) e o coeficiente de restituição tangencial (R_T). Assim que o bloco rochoso impacta a superfície do talude, a componente normal da velocidade é alterada em termos de sinal e reduzida pelo R_N e a componente tangencial da velocidade é também alterada em termos de sinal e reduzida pelo R_T (Giani, 1992). Um talude com comportamento perfeitamente elástico é caracterizado por apresentar $R_N = 1$, e deste modo, qualquer bloco rochoso quando impactado com este tipo de material irá prosseguir o seu movimento com a mesma velocidade, sem qualquer perda de energia. Contrariamente, um talude perfeitamente inelástico é caracterizado por $R_N = 0$, e assim qualquer bloco rochoso irá terminar o seu movimento. Assim sendo, os coeficientes de restituição variam entre 0 e 1. De um modo geral, os materiais mais duros (superfícies limpas) apresentam coeficientes de restituição mais elevados do que materiais mais macios (superfícies alteradas, solo, vegetação, *etc*) (Hoek, 2007).

Segundo Heidenreich (2004), estes coeficientes de restituição nem sempre são fáceis de determinar e por norma são frequentemente estimados com base em: observações de eventos de queda de blocos ocorridos no passado (retro análise), com conhecimento dos caminhos percorridos e os seus alcances (Ritchie, 1963; Giani, 1992; Stevens, 1998); execução de testes *in situ* e testes laboratoriais.

Os coeficientes de restituição normal e tangencial traduzem-se matematicamente pela razão entre as velocidades antes e após o impacto, através das **Equações 5.1 e 5.2**, respectivamente:

$$R_N = \frac{V_{fn}}{V_{in}} \quad [5.1]$$

$$R_T = \frac{V_{ft}}{V_{it}} \quad [5.2]$$

em que:

R_N, R_T – coeficiente de restituição normal e tangencial
 V_{fn}, V_{ft} - velocidades normal e tangencial, após o impacto
 V_{in}, V_{it} - velocidades normal e tangencial, iniciais

Foi seleccionado o *software RocFall* da *RocScience*, que é um programa de simulação 2D, recorrentemente utilizado para a previsão do comportamento de queda de blocos em taludes e encostas. Este é um programa de análise estatística que se baseia no processo de simulação do método de Monte Carlo (amostragens aleatórias).

Todas as simulações foram executadas através do método *Lumped Mass* (massa concentrada). Este método considera o bloco rochoso como uma partícula infinitesimal esférica, com a massa concentrada no seu centro de gravidade (Stevens, 1998). Assim sendo, tanto o tamanho como a geometria do bloco não são

considerados e a massa do bloco rochoso não tem qualquer influência na análise da trajectória. Acrescenta-se ainda que não são consideradas as possíveis fragmentações do bloco durante a progressão do movimento.

Não foi considerado o método *Rigid Body* (corpo rígido), uma vez que este requer a geometria do bloco rochoso, o que para alguns blocos rochosos poderá ser bastante irregular e de difícil construção no *software*. De modo a homogeneizar o processo de simulação de trajectórias e considerar os valores dos alcances conservativos (máximos), apenas de recorreu ao método *Lumped Mass*.

O método de massa concentrada recorre a uma análise com três secções: o algoritmo de partícula, o algoritmo de projectil e o algoritmo de deslizamento (Stevens, 1998). O algoritmo de partícula garante que os parâmetros adoptados para a simulação são válidos e define as condições iniciais. O algoritmo do projectil aplica-se ao movimento em queda livre e saltação e o algoritmo de deslizamento aplica-se ao movimento do bloco uma vez terminada a saltação em que o movimento ocorre em contacto com a superfície do talude por rolamento e/ou deslizamento.

O algoritmo de projectil assume que o bloco se move no ar, segundo uma trajectória parabólica, devido à força da gravidade e o efeito de atrito do ar é desprezado (Giani, 1992). Este algoritmo intersecta a localização entre a parábola (movimento no ar) e um segmento de recta (talude). Uma vez encontrada a intersecção, é calculada a velocidade de impacto e a velocidade de saída de acordo com os coeficientes de restituição. Após cada impacto, se a velocidade do bloco for suficiente, o movimento por saltação continua até ao próximo ponto de intersecção. A **Equação 5.3** traduz a intersecção entre o movimento em parábola e o talude, ou seja, as coordenadas do ponto de impacto.

$$\left[\frac{1}{2} g\right] t^2 + [V_{Y0} - q V_{X0}]t + [Y_0 - Y_1 + q (X_1 - X_0)] = 0 \quad [5.3]$$

$$\text{Onde, } q = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)}$$

em que:

g – aceleração da gravidade ($-9,8 \text{ m/s}^2$)

t – tempo decorrido (s)
 V_{Y0}, V_{X0} – velocidade inicial do bloco
 X_0, Y_0 – posição inicial do bloco
 q – inclinação segmento do talude
 X_1, Y_1 – primeiro ponto do segmento do talude
 X_2, Y_2 – segundo ponto do segmento do talude

Da solução da **Equação 5.3** obtém-se o instante de tempo t , quando ocorre o impacto. A partir deste é calculada a velocidade de impacto, e recorrendo aos coeficientes de restituição as velocidades de saída, de acordo com a **Equações 5.4 e 5.5**:

$$V_{NA} = R_N V_{NB} \quad [5.4]$$

$$V_{TA} = R_T V_{TB} \quad [5.5]$$

em que:

V_{NA}, V_{TA} – velocidade do bloco após o impacto,
 nas direcções normal e tangencial

V_{NB}, V_{TB} – velocidade do bloco antes do impacto
 nas direcções normal e tangencial

R_N – coeficiente de restituição normal $\in [0, 1]$

R_T – coeficiente de restituição tangencial $\in [0, 1]$

O algoritmo do deslizamento é usado para calcular o movimento do bloco depois de terminado o algoritmo do projectil, para descrever o movimento do bloco ao longo do talude por rolamento e/ou deslizamento. Ou seja, quando termina o movimento por saltação. O movimento do bloco depende do ângulo de atrito (φ) e da inclinação do plano (ψ) e é a relação entre estes dois parâmetros que determina quando o bloco rochoso irá parar o seu movimento.

Quando $\psi > \varphi$, a força no sentido do movimento é maior que a resistência ao atrito, e o bloco aumenta a sua velocidade. A velocidade de saída do bloco é determinada pela seguinte **Equação 5.6**:

$$V_{Saída} = \sqrt{V_0^2 - 2 s g k} \quad [5.6]$$

em que:

V_0 – velocidade inicial do bloco

s – distância percorrida

g – aceleração da gravidade ($-9,8 \text{ m/s}^2$)

$k = \sin(\psi) - \cos(\psi)\tan(\varphi)$

Quando $\psi < \varphi$, a resistência ao atrito é maior que a força da gravidade, e o bloco tende a cessar o seu movimento. A distância percorrida até o bloco cessar o seu movimento é dada pela **Equação 5.7**. Para tal, a $V_{Saída}$ na **Equação 5.6** é definida como zero.

$$s = \frac{V_0^2}{2 g k} \quad [5.7]$$

A geometria do talude adoptada para a análise de cada bloco rochoso foi construída com base no perfil topográfico mais íngreme (“*Steepest Path*”), exportado a partir do ArcMap (**Anexo 6**). Este perfil irá definir a trajectória do bloco rochoso no programa *RocFall*. Chama-se a atenção que a trajectória que o bloco irá tomar, na realidade, poderá diferir desta. Os parâmetros necessários a definir são a posição inicial do bloco, a sua velocidade inicial, o valor de ângulo de atrito e os coeficientes de restituição.

Considerou-se o valor de 5 m/s para a velocidade inicial. Este valor provém da classificação de movimentos de terreno em termos da sua velocidade, de Cruden e Varnes (1996) (**Tabela 5.1**). O valor escolhido é típico de movimentos rápidos a extremamente rápidos, fornecendo resultados possivelmente sobrestimados. Com o propósito de avaliar a influência do efeito da velocidade inicial na extensão da trajectória, foi também considerado o valor de 2 m/s. Segundo Giani (1992), os valores mais comuns de velocidade inicial, obtidos da literatura, variam entre 1 m/s e 3 m/s.

Tabela 5.1 - Escala de velocidades para movimentos de terreno (adaptado de Cruden e Varnes, 1996)

| Classe Velocidade | Descrição | Velocidade (mm/seg) | Valores Típicos |
|-------------------|---------------------|--|-----------------|
| 7 | Extremamente Rápido | 5×10^3 5×10^1 5×10^{-1} 5×10^{-3} 5×10^{-5} 5×10^{-7} | 5 m/s |
| 6 | Muito Rápido | | 3 m/min |
| 5 | Rápido | | 1,8 m/h |
| 4 | Moderado | | 13 m/mês |
| 3 | Lento | | 1,6 m/ano |
| 2 | Muito Lento | | 16 mm/ano |
| 1 | Extremamente Lento | | |

Como já referido nesta dissertação, é sabido que ocorreram na área de estudo eventos de queda de blocos no passado. Porém, uma vez que não existe um inventário de movimentos, consequentemente também não existem quaisquer dados disponíveis provenientes de retro análise (tais como, velocidade inicial, atrito, alcance, *etc.*) que possam auxiliar a calibrar o modelo para a área de estudo.

Assim sendo, para o ângulo de atrito (ϕ) foram considerados três casos distintos: 30°, 21,5° e 15°. O valor 30° foi utilizado primeiramente por ser o valor *default* do software. Este valor poderá ser justificado assumindo que quando em contacto com o terreno o movimento ocorre por rolamento, mas também por deslizamento, este último processo dando origem a maiores perdas de energia e a trajectórias mais curtas. O valor 21,5° corresponde ao valor determinado por retro-análise por Almeida *et al.*, (2003), para condições geomorfológicas semelhantes (anteriormente abordado na **secção 2.5.1**). O valor de 15° consiste num cenário conservativo, tendo presente a incerteza neste valor e de na zona de intervenção em Monsanto ocorrer menos vegetação do que no estudo de Almeida *et al.*, (2003).

Para os coeficientes de restituição foram adoptados os valores *default* do programa (valores médios $R_N=0,35$ e $R_T=0,85$, com distribuição normal e desvio padrão 0,04). Estes valores para os coeficientes de restituição são característicos de afloramentos rochosos com superfície dura e blocos rochosos (Hoek, 1987; Giani, 1992).

Ainda que cada simulação seja específica para cada bloco rochoso e visto que o programa utilizado é de base estatística, é vantajoso colocar um maior número de blocos na posição inicial de modo a obter um maior número de probabilidades / hipóteses possíveis para o bloco em causa. Posto isto, foi estabelecido uma amostra de 100 blocos, e assim cada bloco rochoso terá diversas trajectórias e alcances.

Para cada simulação realizada, manteve-se constante o material constituinte do talude (maciço granítico sem vegetação em toda a extensão do perfil) e os valores dos coeficientes de restituição. Deste modo, procura-se compreender o efeito da variação do valor de ângulo de atrito e da velocidade inicial no alcance das trajectórias de um conjunto de blocos.

5.2. Selecção dos Blocos Rochosos

Dos blocos rochosos anteriormente identificados com potencial de perigosidade elevado (**Tabelas 4.3 e 4.4** e mapas de índice de perigosidade em **Anexo 5**), foram seleccionados alguns tendo em conta a sua localização e as condições observadas aquando do trabalho de campo.

A **Área 1**, como já referido anteriormente na **secção 4.1**, contém os blocos rochosos que pela sua localização poderão afectar as habitações, a escola primária e o posto da GNR, no extremo NE da aldeia. Como tal, foram escolhidos os blocos **1, 4, 12 e 33c**. É de salientar ainda que a estes blocos se atribuiu classe 3 no que respeita ao seu volume, ou seja, consideram-se blocos de grandes dimensões (**secção 3.5.4.**).

O bloco 4 e o bloco 33c servem de suporte a outros blocos, também esses com perigosidade elevada. Estes amontoados de blocos correspondem aos “Penedos Juntos de Baixo” e ao “Penedos Juntos de Cima”, respectivamente. Ainda que a trajectória analisada seja apenas para estes dois blocos, é de salientar que quando iniciarem o seu movimento despoletem também o movimento dos restantes blocos. O bloco 12 é suportado por outro bloco rochoso de dimensões inferiores, também considerado com perigosidade elevada.

A **Área 2**, à semelhança da Área 1 também contém blocos rochosos que pela sua localização poderão afectar o centro da aldeia, incluindo as habitações e a Rua do Castelo. Foi seleccionado o bloco **59**, principalmente pela sua localização e exposição, situados acima da Rua do Castelo.

A **Área 3** apresenta menores elementos de risco e maioria dos blocos rochosos localizam-se abaixo da Rua do Castelo. Foi seleccionado bloco **66**, tendo em conta as observações durante o trabalho de campo e a sua localização (entrada do Castelo).

Foram seleccionados ainda os blocos **7** (“Penedo do Meio Dia”) e **116e** (“Penedo do Pé Calvo”). Ainda que estes blocos rochosos na sua discriminação (**secção 4.4**) não tenham sido considerados com potencial de perigosidade elevado, são blocos emblemáticos e de grandes dimensões, devendo por isso ser alvos de estudos de pormenor.

Chama-se a atenção para a geometria dos taludes (isto é, os perfis) considerados na análise das trajectórias dos blocos, levantada sobre o ortomosaico gerado pelo drone: visto ser um ficheiro do tipo Modelo Digital Superfície (MDS), neste constam na elevação todas as características incluídas na superfície topográfica, como edificações, árvores, blocos rochosos, *etc.* Os perfis que atravessam zonas mais desimpedidas destes elementos, têm por isso um menor erro associado. Por exemplo, caso tivessem sido seleccionados blocos rochosos da **Área 4**, os perfis iriam intersectar as edificações da área urbana, pelo que seria conveniente editá-lo na interface gráfica do *RocFall*.

5.3. Resultados e Discussão

A **Tabela 5.2** apresenta uma síntese dos resultados obtidos após todas as simulações efectuadas, nomeadamente o valor mais frequente do alcance (moda) e o valor máximo do alcance para cada bloco considerado, para os diferentes valores de ângulo de atrito ($30^\circ/21,5^\circ/15^\circ$) e velocidade inicial (5 m/s). Estes e outros resultados podem ser observados no **Anexo 7**. Ainda na mesma tabela fornece-se o número de simulações (N de 100) que atingiram os valores de alcance referidos. A **Tabela 5.3** apresenta os resultados obtidos com a variação da velocidade inicial (5 m/s para 2 m/s), para os casos com valor de ângulo de atrito $21,5^\circ$.

Tabela 5.2 - Síntese de resultados proveniente da simulação em RocFall, com velocidade inicial 5 m/s

| 5 m/s | | $\phi = 30^\circ$ | | $\phi = 21,5^\circ$ | | $\phi = 15^\circ$ | |
|------------|----|-------------------|----------|---------------------|----------|-------------------|-----------|
| | | Moda | Máximo | Moda | Máximo | Moda | Máximo |
| | | N (m) | N (m) | N (m) | N (m) | N (m) | N (m) |
| Bloco 1 | i | 97 20,79 | 2 26,73 | 58 32,67 | 1 74,25 | 67 109,89 | 1 115,83 |
| | ii | 94 23,92 | 94 23,92 | 95 23,92 | 5 27,6 | 86 27,6 | 86 27,6 |
| Bloco 4 | i | 86 31,2 | 1 39,52 | 32 39,52 | 3 56,16 | 77 56,16 | 1 85,28 |
| | ii | 84 28,65 | 84 28,65 | 77 51,17 | 17 63,03 | 50 97,41 | 1 120,33 |
| Bloco 7 | | 41 62,25 | 3 112,05 | 40 62,25 | 3 131,97 | 48 62,25 | 9 136,95 |
| Bloco 12 | | 52 32,34 | 4 55,86 | 81 55,86 | 17 61,74 | 69 67,62 | 69 67,62 |
| Bloco 33c | i | 65 9,15 | 3 10,37 | 50 9,15 | 1 11,59 | 51 11,21 | 2 13,57 |
| | ii | 50 10,15 | 1 11,55 | 47 10,85 | 1 20,65 | 43 11,55 | 13 34,65* |
| Bloco 59 | | 18 13,77 | 2 15,93 | 22 14,31 | 2 19,17 | 19 15,39 | 1 21,87 |
| Bloco 66 | | 31 15,85 | 3 18,72 | 33 26,4 | 15 27,36 | 75 28,32 | 5 31,2 |
| Bloco 116e | | 40 55,66 | 4 65,34 | 46 55,66 | 4 65,34 | 46 55,66 | 1 70,18 |

(*), alcance ultrapassa o perfil

Tabela 5.3 - Síntese de resultados provenientes da simulação em RocFall, com velocidade inicial 2 m/s e 5 m/s

| | | $\phi = 21,5^\circ$ 2m/s | | $\phi = 21,5^\circ$ 5 m/s | |
|------------|----|----------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| | | Moda | Máximo | Moda | Máximo |
| | | N (m) | N (m) | N (m) | N (m) |
| Bloco 1 | i | 85 20,79 | 85 20,79 | 58 32,67 | 1 74,25 |
| | ii | 91 12,88 | 9 23,92 | 95 23,92 | 5 27,6 |
| Bloco 4 | i | 66 35,36 | 1 52 | 32 39,52 | 3 56,16 |
| | ii | 100 1,91 | 100 1,91 | 77 51,17 | 17 63,03 |
| Bloco 7 | | 97 7,47 | 3 12,45 | 40 62,25 | 3 131,97 |
| Bloco 12 | | 91 8,82 | 1 26,46 | 81 55,86 | 17 61,74 |
| Bloco 33c | i | 71 5,31 | 29 6,49 | 50 9,15 | 1 11,59 |
| | ii | 57 7,35 | 3 8,05 | 47 10,85 | 1 20,65 |
| Bloco 59 | | 40 6,21 | 2 7,83 | 22 14,31 | 2 19,17 |
| Bloco 66 | | 34 13,92 | 1 16,8 | 33 26,4 | 15 27,36 |
| Bloco 116e | | 41 55,66 | 2 65,34 | 46 55,66 | 4 65,34 |

Com base nos resultados apresentados nas **Tabela 5.2** e **5.3**, de um ponto de vista geral, pode constatar-se que:

- como seria expectável, para um dado bloco, a consideração de um menor ângulo de atrito conduz a um aumento do alcance;
- considerando a diminuição da velocidade inicial para 2 m/s, seria consequentemente esperado também uma redução na extensão da trajectória;
- na maioria dos casos o valor mais frequente de alcance (moda) ocorre para mais de metade da amostra simulada. Representa a probabilidade de ocorrências em cada situação considerada. O número de simulações que registam a moda permite inferir a maior ou menor dispersão das distâncias alcançadas nas simulações. Ou seja, quanto maior o número de simulações que registam o valor da moda menor será a dispersão;
- o alcance máximo é em geral atingido por um número reduzido de simulações;
- do ponto de vista somente numérico, as distâncias alcançadas pouco indicam sobre o movimento do bloco. Estes valores apenas tomam importância quando confrontados no ortomosaico (**Figura 5.1**);
- face à informação disponível na literatura, considera-se que as condições ocorrentes na Aldeia de Monsanto, no evento de uma instabilização de um bloco rochoso poderão ser de forma conservativa, limitadas pelos dos cenários de valor de ângulo de atrito (ϕ) 21.5° e 15° e velocidade inicial 5 m/s e 2 m/s.

Nas **Figura 5.1** mostram-se visualmente os resultados obtidos apenas pelos alcances máximos, de acordo com os resultados presentes nas **Tabelas 5.2** e **5.3**, respectivamente.

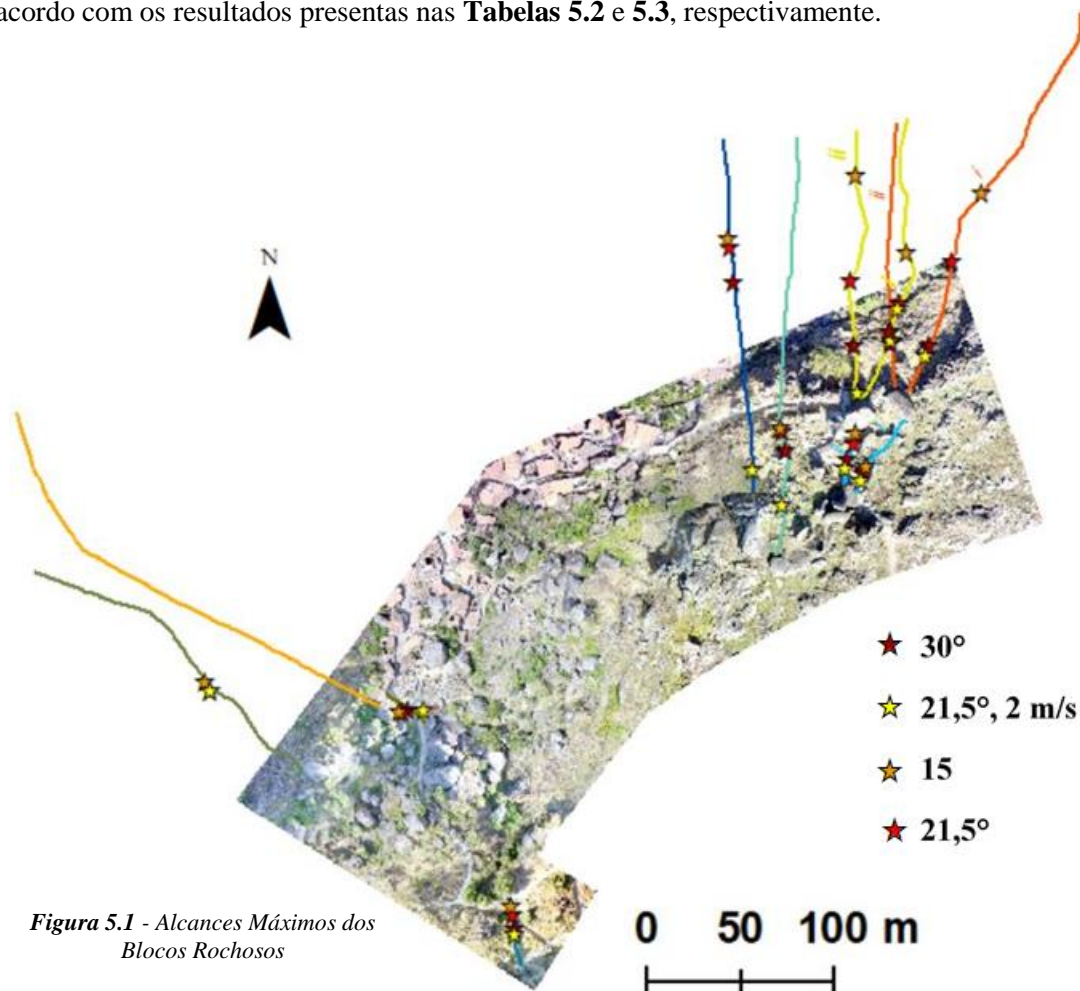


Figura 5.1 - Alcances Máximos dos Blocos Rochosos

No **Anexo 8**, os perfis/trajectórias dos blocos seleccionados, podem ser vistos com maior pormenor no mapa de Alcances e Trajectórias, face às curvas de nível e face à imagem satélite.

Com base nos resultados apresentados nas **Tabela 5.2 e 5.3** e na **Figuras 5.1**, pode constatar-se que:

- **Bloco 1**

Para este bloco foi considerado relevante analisar dois possíveis perfis.

No perfil *i*, relativamente aos casos com $\varphi = 30^\circ$ e $\varphi = 15^\circ$ (velocidade inicial 5 m/s), é bastante notória a diferença entre os alcances máximos. Na situação de atrito mais desfavorável (15°), o alcance máximo excedeu em cerca de 90 o alcance na situação de atrito com valor 30° . Relativamente à variação da velocidade inicial, no caso com $\varphi = 21,5^\circ$, o alcance máximo diminuiu uma diferença de aproximadamente 50 metros, e o alcance mais frequente apenas uma diferença de cerca 12 metros.

No perfil *ii*, relativamente aos casos com velocidade inicial 5 m/s, os alcances máximo obtidos são bastantes semelhantes. O mesmo se verifica quando comparado com a situação de velocidade inicial 2 m/s.

Deste modo, pode-se observar que tendo em conta os alcances máximos atingidos no perfil *i*, nos casos considerados com $\varphi = 21,5^\circ$ e $\varphi = 15^\circ$, existem elementos expostos. Esta trajectória, pela proximidade à Escola Primária e ao posto da GNR, poderá constituir um risco elevado. Já o perfil *ii*, aparenta ser menos preocupante.

- **Bloco 4**

Para este bloco foi considerado relevante analisar dois possíveis perfis.

No perfil *i*, relativamente aos casos com $\varphi = 30^\circ$ e $\varphi = 15^\circ$ (velocidade inicial 5 m/s), aumentou ligeiramente o alcance máximo, em cerca de 30 m. Relativamente à variação da velocidade inicial, no caso com $\varphi = 21,5^\circ$, apenas se verificou uma ligeira diminuição, de baixa significância.

No perfil *ii*, relativamente aos casos com $\varphi = 30^\circ$ e $\varphi = 15^\circ$ (velocidade inicial 5 m/s), é bastante notória a diferença entre os alcances máximos. Na situação de atrito mais desfavorável (15°), o alcance máximo excedeu em mais 90 metros o alcance na situação de atrito com valor 30° . Relativamente à variação da velocidade inicial, no caso com $\varphi = 21,5^\circ$, o alcance máximo diminuiu uma diferença de aproximadamente 60 metros. É importante salientar que considerando a velocidade inicial de 2 m/s, a totalidade da amostra (N=100) marcou o alcance máximo, de apenas 2 metros.

Os alcances atingidos no perfil *i* aparentam não afectar quaisquer edificações ou ruas, à excepção do caso com $\varphi = 15^\circ$. Quanto ao perfil *ii*, todos os cenários considerados iram afectar vários elementos expostos.

- **Bloco 7**

Considerando os casos com velocidade inicial 5 m/s, os valores de alcance mais frequente (moda) são iguais nas três situações de atrito. Este facto estará possivelmente relacionado com a geometria do talude. Quanto aos alcances máximos, são nos mesmo casos bastante semelhantes.

Relativamente à variação da velocidade inicial, no caso com $\varphi = 21,5^\circ$, o valor dos alcances mais frequentes e o valor dos alcances máximos são bastante distintos, com uma diferença cerca de 55 e 120 metros, respectivamente

Apenas considerando o caso com $\varphi = 21,5^\circ$ e velocidade inicial de 2 m/s, o bloco não representa uma perigosidade preocupante. Nas restantes situações, para além do caminho de acesso aos Penedos Juntos é afectado, são também colocados em risco ruas, habitações e outras edificações.

- **Bloco 12**

Tendo em conta os casos com velocidade inicial 5 m/s, aos alcances máximos são bastante semelhantes. Relativamente à variação da velocidade inicial, no caso com $\varphi = 21,5^\circ$, o valor dos alcances mais frequentes e o valor dos alcances máximos apresentam uma diferença cerca de 47 e 36 metros, respectivamente

Os alcances registados para esta trajectória não chegam a colocar em risco quaisquer elementos expostos.

- **Bloco 33c**

Para este bloco foi considerado relevante analisar dois possíveis perfis.

No perfil *i*, relativamente aos casos com velocidade inicial 5 m/s, as três situações apresentam valores de alcance frequente e máximo muito semelhantes entre si. O mesmo se verifica quando se analisa os valores com redução de velocidade inicial para 2 m/s.

No perfil *ii*, relativamente aos casos com velocidade inicial 5 m/s, é possível constatar um aumento do valor de alcance máximo, tendo na situação de $\varphi = 15^\circ$ excedido o perfil. Ou seja, para esta situação o bloco irá prolongar a sua extensão para além do perfil analisado. Considerando os alcances máximo com velocidade inicial 2 m/s, verifica-se uma diferença de menos 13 metros.

No mapa, este bloco irá afectar o caminho de acesso aos Penedos Juntos de Cima e de Baixo, frequentemente percorrido pelos turistas. É de salientar mais uma vez que o bloco rochoso 33c suporta os restantes blocos que constituem os Penedos Juntos de Cima. Apesar de aparentemente as distâncias obtidas serem pouco significantes, o início do movimento deste bloco irá despoletar o movimento dos restantes que suporta e os que se situam a cotas inferiores, como é o caso do Bloco 1 e Bloco 4. Inclusive também a trajectória do próprio bloco rochoso.

- **Bloco 59**

Considerando os casos com velocidade inicial 5 m/s, todos os valores de alcance são bastante semelhantes, tendo-se verificado um alcance máximo de cerca 22 metros ($\varphi = 15^\circ$). Tendo em conta a variação da velocidade inicial, no caso com $\varphi = 21,5^\circ$, o valor dos alcances mais frequentes e o valor dos alcances máximos apresentam uma diferença cerca de 8 e 11 metros, respectivamente.

No mapa, é possível constatar que este bloco irá afectar a Rua do Castelo, frequentemente frequentada por turistas e habitantes. Devido às suas dimensões, será pouco provável que inicie o movimento de outros blocos na sua periferia.

- **Bloco 66**

Relativamente aos casos com velocidade inicial 5 m/s, os valores de alcances apresentam ligeira diferença, tendo-se obtido um valor máximo de cerca 31 metros para um valor $\varphi = 15^\circ$. Considerando a variação da velocidade inicial, verifica-se uma diminuição de cerca 10 metros no alcance máximo.

À semelhança do bloco 59, também este quando iniciado o seu movimento irá colocar em risco o caminho de acesso ao Castelo. Tendo em conta a localização deste bloco poder-se-á assumir que o bloco rochoso no pior dos cenários, poderá ficar retido nas árvores e arbustos que se encontram a jusante do perfil.

- **Bloco 116**

Nas situações com velocidade inicial 5 m/s, os alcances mais frequentes (moda) são iguais nas três situações de valor de atrito. Este facto estará possivelmente relacionado com a geometria do talude. Os valores de alcance máximo, nos casos $\varphi = 30^\circ$ e $\varphi = 21,5^\circ$, são iguais entre si; e apresentam uma diferença cerca de menos 14 metros para o caso $\varphi = 15^\circ$. Considerando a redução da velocidade inicial para 2 m/s, também os valores de alcance são iguais.

Observando no mapa as distâncias estimadas, o bloco rochoso em qualquer situação de atrito e de velocidade inicial, irá colocar em risco o extremo SW da área urbana.

6. Considerações Finais

Esta dissertação tem como principais objectivos a análise da suscetibilidade de instabilização de blocos rochosos e uma avaliação preliminar do risco associado.

No contexto diário em que os riscos naturais condicionam a qualidade do ambiente e a vida das populações, é crucial identificar e compreender o risco de uma eventual ocorrência, que colocam em situações de vulnerabilidade os elementos expostos.

Apesar de não haver um inventário de movimentos oficial, foi realizado um histórico de movimentos com base num questionário informal a alguns habitantes e observação de queda de blocos e medidas de contenção, aquando do trabalho de campo. Foram verificadas diversas ocorrências, desde as últimas décadas, até mais recentemente, 2 a 3 anos.

Foram registados 133 blocos rochosos. Este número não traduz directamente a quantidade de blocos rochosos dispersos por toda a aldeia, uma vez que existem inúmeras situações, tais como, blocos situados em locais de difícil acesso e em propriedades privadas, impossibilitando um registo de maior número. Estes blocos rochosos foram inventariados e localizados em mapa, com fotos exaustivas das condições de cada bloco, nas quatro áreas na aldeia.

O potencial de mobilidade estático poderá ser considerado um modo de avaliar a suscetibilidade à instabilização dos blocos rochosos, e o potencial de mobilidade dinâmico, poderá ser considerado como um indicador da extensão na trajectória e também um indicador indirecto de risco potencial associado face aos elementos expostos (em função da localização do bloco).

À classe 1 de perigosidade correspondem blocos rochosos com características geotécnicas mais favoráveis, e por isso de menor suscetibilidade à iniciação e progressão do movimento. À classe 3 de perigosidade pertencem os blocos rochosos com piores características geotécnicas e mais susceptíveis à iniciação e progressão do movimento. Sendo a classe 2 de perigosidade considerada a classe intermédia.

De acordo com a **Figura 6.1**, onde consta a atribuição de classes de perigosidade a cada bloco rochoso, verificou-se que:

- relativamente ao potencial de iniciação do movimento por **tombamento** (análise estática), 47% dos blocos rochosos classificam-se como pertencentes à classe 1, 32% classificam-se como pertencentes à classe 2 e 21% classificam-se como pertencentes à classe 3.

- relativamente ao potencial de iniciação do movimento por **deslizamento** (análise estática), 30% dos blocos rochosos classificam-se como pertencentes à classe 1, 19% dos blocos rochosos à classe 2 e mais de 50% pertencente à classe 3.

- quanto ao potencial de **progressão do movimento** (análise dinâmica), 75% dos blocos rochosos foram classificados como pertencentes à classe 2 e os restantes 25% dos blocos rochosos como pertencentes à classe 3. Não foram atribuídos quaisquer blocos rochosos com classe 1.

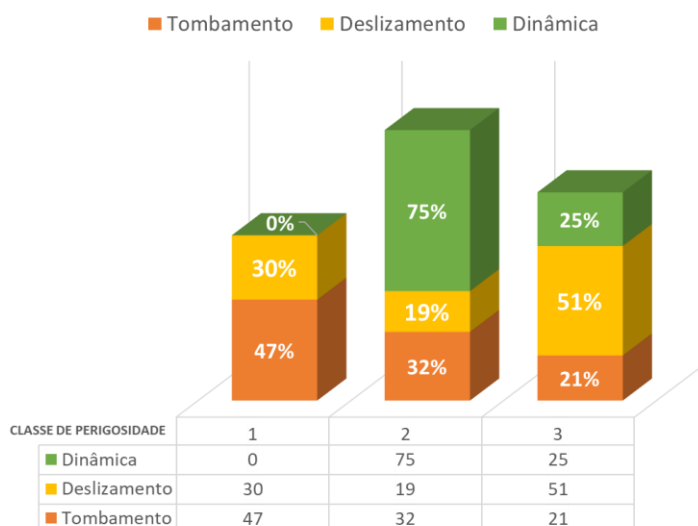


Figura 6.1 - Síntese discriminação de blocos rochosos para a análise estática (por tombamento e deslizamento) e análise dinâmica

Da combinação do potencial de mobilidade estática com o potencial de mobilidade dinâmica, foi possível obter quais os blocos rochosos com maior potencial de perigosidade:

- no que diz respeito à **análise estática para tombamento versus análise dinâmica**, 7 blocos rochosos consideram-se como os mais problemáticos na área de estudo. Estes foram classificados como pertencentes à classe 3 de perigosidade, em ambas as análises (estática e dinâmica). Também com elevado índice de perigosidade associado, se obtiveram 21 blocos rochosos que correspondem à classe 3 para iniciação de movimento por tombamento e classe 2 para progressão do movimento e 12 blocos rochosos, que correspondem à classe 2 para iniciação de movimento por tombamento e classe 3 para a sua progressão;

- no que diz respeito à **análise estática para deslizamento versus análise dinâmica**, 19 blocos rochosos consideram-se como os mais problemáticos na área de estudo. Estes foram classificados como pertencentes à classe 3 de perigosidade, em ambas as análises (estática e dinâmica). Também com elevado índice de perigosidade associado, se obtiveram 50 blocos rochosos que correspondem à classe 3 para iniciação de movimento por deslizamento e classe 2 para progressão do movimento e apenas 4 blocos rochosos, que correspondem à classe 2 para iniciação do movimento por deslizamento e classe 3 para a sua progressão.

Respondendo ao primeiro objectivo do trabalho, poder-se-á concluir que há um maior número de blocos susceptíveis de iniciar o seu movimento por deslizamento, associados a uma perigosidade média a elevada. Para esta situação registaram-se 79 blocos rochosos, comparativamente aos 40 blocos rochosos de elevada a média perigosidade para a iniciação do movimento por tombamento. Estes blocos rochosos devem ser alvo de estudos de pormenor e sujeitos de medidas de monitorização e estabilização apropriadas.

No que diz respeito ao segundo objectivo, após uma análise preliminar das trajectórias e tendo em conta a influência e variação do valor de ângulo de atrito e velocidade inicial, considera-se que a instabilização de blocos rochosos poderá apresentar um risco significativo para a área urbana da Aldeia de Monsanto. Tendo em conta as extensões de trajectórias obtidas, o caminho de acesso aos “Penedos Juntos”, a Rua do Castelo, a Escola Primária, o posto da GNR e outras ruas e edificações, constituem elementos expostos com um risco associado significativo.

6.1. Propostas de Trabalhos Futuros

Sugere-se a continuação de um estudo ainda mais detalhado, principalmente dos locais com blocos rochosos em que não foi possível o acesso físico. Após a finalização deste trabalho, é possível constatar que existem diversas áreas a que não foi possível chegar, com uma quantidade considerável de blocos rochosos ainda por analisar.

Devem também ser monitorizados os blocos rochosos que se considerem com um maior potencial de perigosidade associado e nos casos mais críticos, devem ser implementadas propostas de estabilização adequadas a cada caso específico. Para tal, deverão ser realizados estudos de maior pormenor.

À semelhança da metodologia adoptada por Alejano *et al.*, (2009), realizar técnicas de varrimento a laser terrestre, para a obtenção pormenorizada de diversos parâmetros, tal como a geometria e o volume, para suportar estudos de pormenor sobre os blocos e intervenções de estabilização. Esta metodologia seria útil aplicada ao Penedo do Pé Calvo, ao Penedo do Meio Dia e aos Penedos Juntos de Cima e de Baixo dada a sua geometria complexa e imbricamento entre blocos.

Propõe-se ainda o desenvolvimento dos trabalhos relativamente à previsão do alcance dos blocos. Por um lado, procurar optimizar os parâmetros de entrada, nomeadamente coeficientes de restituição, ângulo de atrito e velocidade inicial. O melhor conhecimento destes parâmetros, ajuda a calibrar as simulações das trajectórias e consequentemente, delimitar as zonas potencialmente em risco. Em complemento, à semelhança da metodologia adoptada por Almeida *et al.*, (2003), proceder a uma simulação estocástica de um conjunto de cenários equiprováveis para as trajectórias de cada bloco. O modelo teria como base um algoritmo implementado sobre a discretização do espaço e do tempo e com regras de transição probabilísticas, sobre uma malha regular de células idênticas.

Alertar a população da Aldeia de Monsanto e visitantes para os perigos e vulnerabilidades, em caso de ocorrência de instabilização de blocos, e estender este caso de estudo a outros casos possivelmente análogos.

7. Referências Bibliográficas

- Águas, C.; Almeida, J. A.; Kullberg, J. C.; Costa, C.N. (2003). *Estudo geotécnico sobre a estabilidade de blocos de granito na Serra de Sintra*. Ciências Terra, Lisboa, nº esp. V, CD-ROM: G1-G4.
- Alejano, L. R.; Ordóñez, C.; Armesto, J.; Rivas, T. (2009). *Assessment of the instability hazard of a granite Boulder*. Nat Hazard 2010, 53:77-95.
- Almeida, J. A.; Águas, C.; Vargas, H. S.; Kullberg, J. C.; Costa, C. N. (2003). *Avaliação do potencial de mobilidade de blocos de granito na Serra de Sintra, através de técnicas de análise estatística multivariada*. Ciências da Terra (UNL), Lisboa, nº esp. V, CD-ROM, pp. M1-M5.
- Almeida, J. A.; Costa, C. N.; Kullberg, J. C.; Vargas, H.; Águas, C. (2003). *Análise de perigosidade da queda de blocos na Serra de Sintra*. In A. C. et al. In Mineiro, editor, 10º Congresso Nac. Geotecnia, Soc. Port. Geotecnia, pages 29-38, Lisboa, 2006.
- Almeida, J. A. (2010). *Cartografia de Riscos de Movimentos de Terrenos: o exemplo do Monte da Lua, Serra de Sintra*. Conferencia: 19.º Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (myESIG 2010), USIG, At Oeiras / Lagoas Park.
- Almeida, J. A.; Kullberg, J.C (2010). *Rockfall hazard and analysis for Monte da Lua, Sintra, Portugal*. Nat Hazards 2011, 58:289-310.
- Azevedo, M. R., Valle Aguado, B., Nolan, J., Martins M., Medina J. (2005). *Origin and emplacement of syn-orogenic Variscan granitoids in Iberia - the Beiras massif*. In: Carosi R., Dias R., Lacopini D., Rosenbaum G. (Eds.), The southern Variscan belt, Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition, 19, Paper 7.
- Barton, N.; Choubey, V. (1977). *The shear strength of rock joints in theory and practice*. Rock Mech., 10 (1-2), pp 1-54.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. John Wiley, New York.
- Brady, B. H. G.; Brown, E. T. (2005). *Rock Mechanics for underground mining*. 3ª Edição, Springer Science e Business Media, Inc.
- Cabral, J. (1998). *Elementos de Geomorfologia*. 1ª Edição da Associação de Estudantes da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, p. 42-48.
- Cruden, D. M.; Varnes, D. J. (1996). *Landslides types and processes*. Chapter 3, Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75, 59pp.
- Deere, D.U.; Miller, R.P. (1966). *Engineering classification and index properties for intact rocks*. Tech.Rep. Nº AFWL-TR-65-116, Uni. of Illinois, pp 299.
- Dias, G., Simões, P.P., Ferreira, N., Leterrier, J. (2002). *Mantle and Crustal Sources in the Genesis of Late-Hercynian Granitoids (NW Portugal): Geochemical and Sr-Nd Isotopic Constraints*. Gondwana Research, 5, 287-305.
- Dias, R. P.; Cabral, J. (1989). *Neogene and Quaternary reactivation of the Ponsul river fault in Portugal*. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, 75, 3-28.
- Dorren, Luuk K. A. (2003). *A review of a rockfall mechanics and modelling approaches*. Progress in Physical Geography 27, 69-87pp.
- Ferreira, N., Iglésias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., Ribeiro, M.L. (1987). *Granitóides da zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico*. In: F. Bea, A. Carmina, J.C. Gonzalo,

- M.L. Plaza, J.M.L. Rodrigues (Eds.), *Geologia de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico*. Libro Homenaje a L.C.G. Figueirola. Editorial Rueda, Madrid, 37-53.
- Giani, G. P. (1992). *Rock Slope Stability Analysis*. Balkema, Rotterdam. Chap. 7, pp 191–208.
- Heidenreich, B. (2004) - *Small-and half-scale experimental studies of rockfall impacts on sandy slopes*. Thesis nº3059, faculté environnement naturel, architectural et construit.
- Hoek, E. (1983). *Strength of Jointed Rock Masses*. Geotechnique, 33, pp 187-223.
- Hoek, E. (1987). "Unpublished notes" NSERC Industrial Research Professor of Rock Engineering, Department of Civil Engineering, University of Toronto, St George Street, Toronto, Ontario, Canada M5S 1A4.
- Hoek, E. (1998). *Reliability of Hoek-Brown Estimates of Rock Mass Properties and their Impact on Design*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol.35, pp 63-68.
- Hoek, E. (2007). *Practical Rock Engineering – Cap. 2 “When is a Rock Engineering Design Acceptable”*. [Disponível online em <https://www.rocscience.com/learning/hoek-corner/course-notes-books>];
- Hoek, E. (2007). *Practical Rock Engineering – Cap. 4 “Shear strength of discontinuities”*. [Disponível online em: <https://www.rocscience.com/learning/hoek-corner/course-notes-books>];
- Hoek, E. (2007). *Practical Rock Engineering – Cap. 9 “Analysis of Rockfall Hazards”*. [Disponível online em: <https://www.rocscience.com/learning/hoek-corner/course-notes-books>];
- Hoek, E.; Bray, J.W. (1977). *Underground Excavations in Rock*. Institution of Mining and Metallurgy, London, 527pp.
- Hudson, J.; Harrison, J. (1997). *Engineering Rock Mechanics: An Introduction to the Principles*. Pergamon. ISBN:0 08 041912 7, p. 287-297.
- ISRM (1981). *Basic geotechnical description of rock masses*. International Society of Rock Mechanics, Commission of the Classification of Rocks and Rock Masses. 18, pp 85-110.
- Johnson R.; Wichern D. (1982). *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 671-680 pp.
- Julião, R. P.; Nery, F.; Ribeiro, J. L.; Castelo Branco, M.; Zêzere, J. L. (2009). *Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal*. Autoridade Nacional de Protecção Civil. 20pp.
- Neiva, A.M.R., Campos, T.C. (1993). *The zoned granitic pluton of Penamacor-Monsanto, Central Portugal: hydrothermal alteration*. Memórias e Notícias, Publicações do Museu do Laboratório Mineralógico e Geológico, Universidade de Coimbra 116, 51-68.
- Neiva, A.M.R., Gomes, M.E.P. (2001). *Diferentes tipos de granitos e seus processos petrogenéticos: granitos hercínicos portugueses*. Memórias da Academia das Ciências de Lisboa, XXXIX, 53-95.
- Neiva, A.M.R.; Campos, T.C. (1992). *Genesis of the zoned granitic pluton of Penamacor-Monsanto, Central Portugal*. Memórias e Notícias, Publicações do Museu do Laboratório Mineralógico e Geológico, Universidade de Coimbra 114, 21-68.
- Neiva, A.M.R.; Silva, M.M.V.G.; Antunes, I.M.H.R.; Ramos, J.M.F. (2001). *Phosphate minerals of some granitic rocks and associated quartz veins from northern and central Portugal*. Journal of the Czech Geological Society 46(3-4), 35-43.
- Prazeres, R. (2017). *Caracterização geológico-geotécnica da aldeia de Monsanto e avaliação das condições de estabilidade*, Tese de Mestrado IST.

- Ribeiro, A. (2006). *A Evolução Geodinâmica de Portugal*. In: Dias, R., Araújo A., Terrinha, P. & Kullberg, C. (Eds) *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*. Universidade de Évora, Évora, 1-27.
- Ribeiro, A., Quesada, C., Dallmeyer, R.D. (1990). *Geodynamic Evolution of the Iberian Massif*. In: Dallmeyer R.D., Martínez García (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, Berlin, 399-409.
- Ribeiro, A.; Antunes, M.T.; Ferreira, M.P.; Rocha, R.B.; Soares, A.F.; Zbyszewski, G.; Almeida, F.M.; Carvalho, D.; Monteiro, J.H. (1979). *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 114p.
- Ritchie, A. M. (1963) Evaluation of Rockfall and its Control. Highway Reserch Board Rec 17:13-27.
- Rocha, M. (2013). *Introdução à Mecânica das Rochas*, 1ª Edição, LNEC, Lisboa, p. 17-142.
- Rodrigues, J.; Neto De Carvalho, C.; Oliveira, T. (2009). *Património Geomorfológico de Monsanto*. Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Volume VI, p. 243-248.
- Santos, I.; Henriques, R.; Mariano, G.; Pereira, D. I. (2018). *Methodologies to Represent and Promote the Geoheritage Using Unmanned Aerial Vehicles, Multimedia Technologies and Augmented Reality*. *Geoheritage* (2018) 10:143-155.
- Stevens, W. D. (1998). *RocFall: a tool for probabilistic analysis, design of remedial measures and prediction of rockfalls*. Thesis University of Toronto.
- Twidale, C. R. Adelaide (1986). *Granite landform evolution: factors and implications*. *Geologische Rundschau* 75/3, 769-779.
- Vallejo, L.G; Ferrer, M.; Ortuño, L., Oteo, C. (2002). *Ingenieria Geologica*. Pearson Educacion, Madrid, 128 pp.
- Varnes, D. J. (1978). *Slope Movement, Types and Processes*. Landslides and engineering practices, Highway Research Board special report 29, Chapter 2.
- Wang, I. T.; Lee, C. Y. (2010). *Influence of slope shape and surface roughness on the moving paths of a single rockfall*. *World Academy of Science, Engineering and Tecnology, International Journal of Civil and Environmental Engineering*. Vol. 4, Nº 5.

8. Anexos

ANEXO 1 – Inventário de Blocos Rochosos

Blocos Área 1

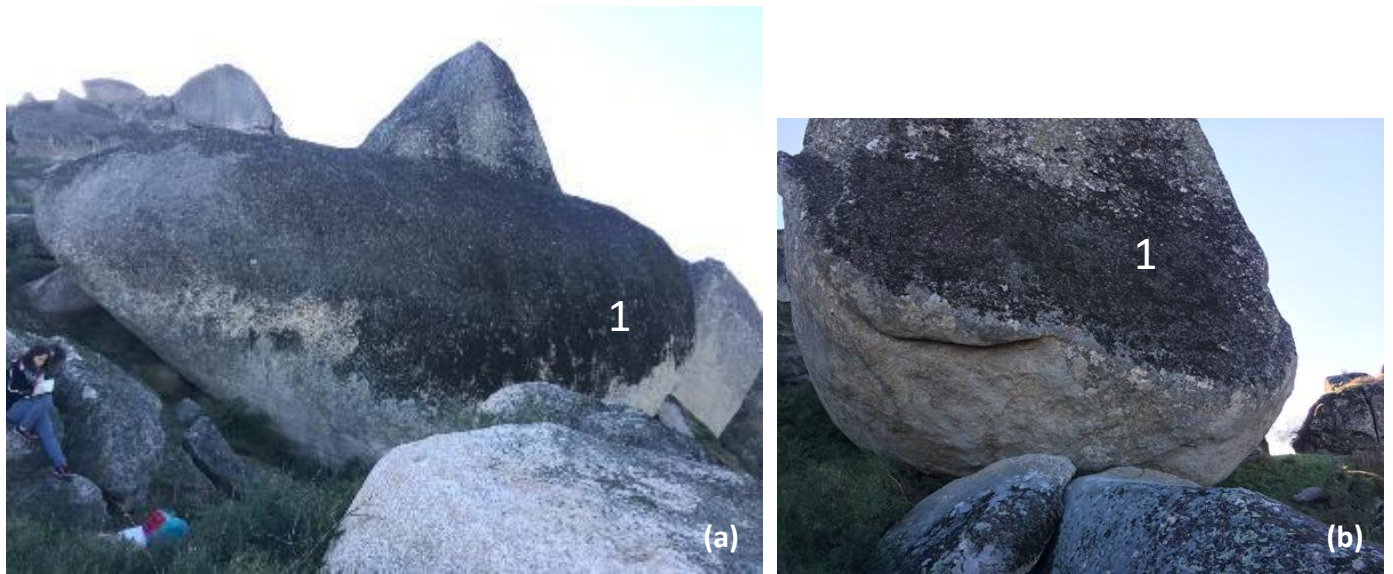


Figura 1 - Bloco 1: (a) vista lateral SE-NW; (b) vista de frente NE-SW



Figura 2 - Bloco 2, vista de frente E-W

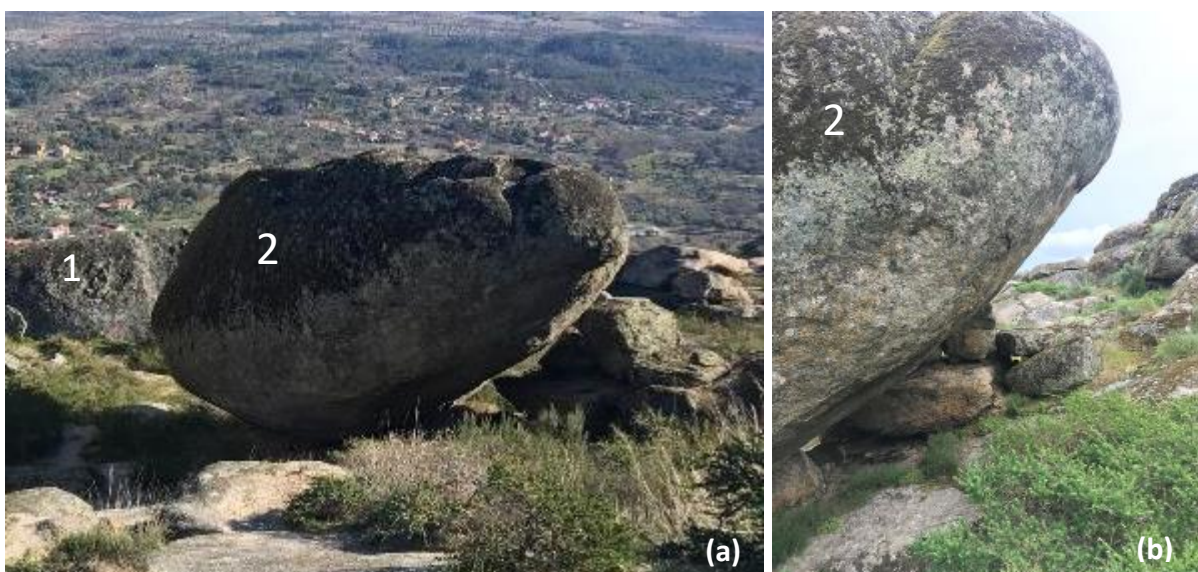


Figura 3 – Bloco 2:(a) vista lateral N-S; (b) base bloco, vista lateral de trás N-S

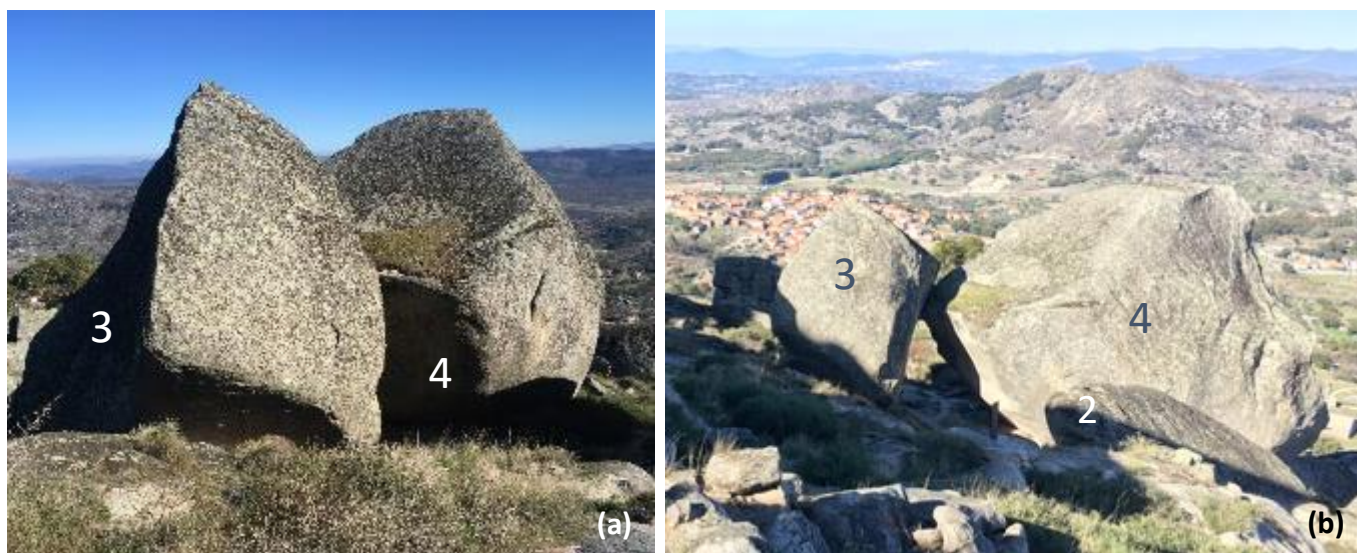


Figura 4 – (a) “Penedos Juntos de Baixo” Blocos 3 e 4: (a) vista de cima E-W; (b) vista de cima SW-NE

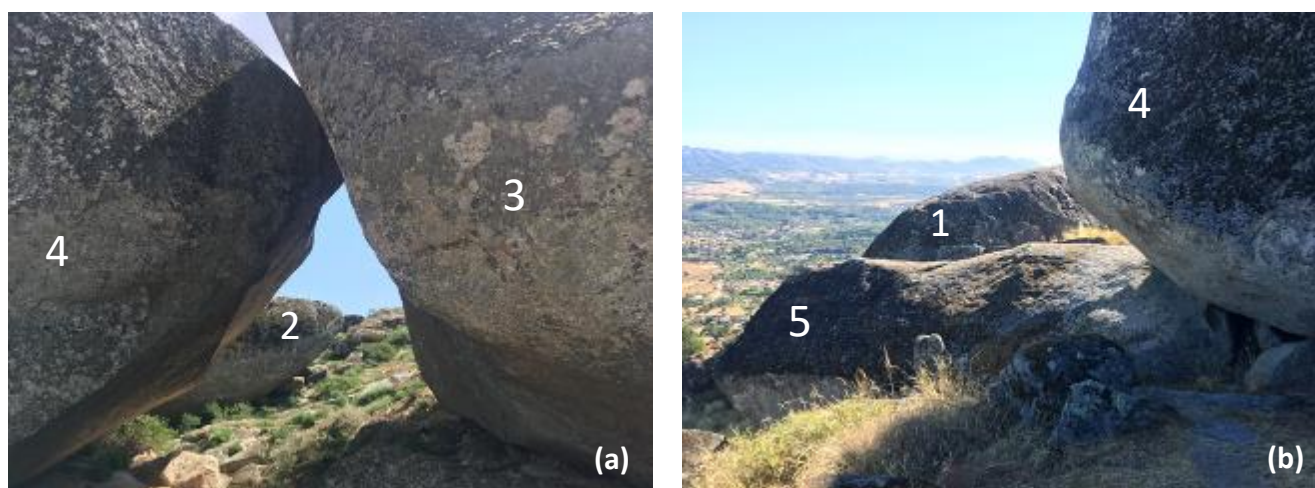


Figura 5 – (a) Blocos 2, 3 e 4, vista lateral N-S; (b) Blocos 1 e 5 e base bloco 4, vista lateral N-S



Figura 6 – (a) bloco 3, vista lateral S-N; (b) bloco 3 e 4, vista lateral N-S

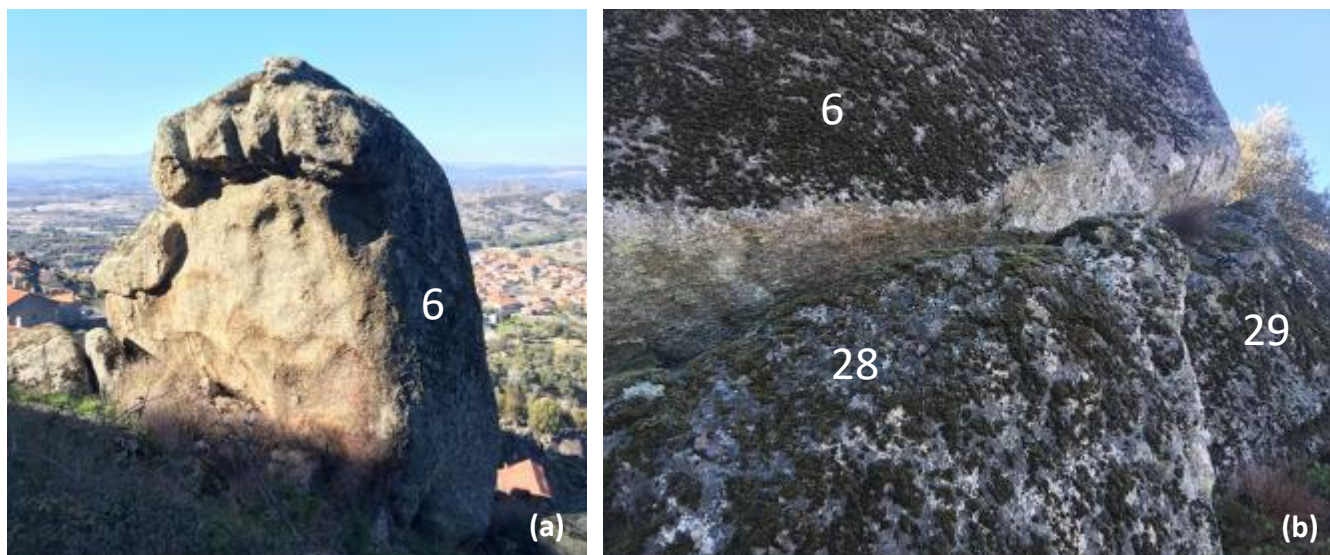


Figura 7 – “Mão Fechada” Bloco 6: (a) vista frente W-E; (b) Blocos 6, 28 e 29, vista de trás E-W



Figura 8 - (a) Bloco 6, vista lateral S-N; (b) Blocos 6 e 29, vista lateral N-S



Figura 9 - Base bloco 6 e bloco 29, vista lateral N-S



Figura 10 - "Penedo do Meio Dia" Bloco 7: vista lateral S-N;



Figura 11 - Bloco 7, vista lateral cima N-S



Figura 12 - Bloco 7, vista lateral de baixo S-N



Figura 13 – Bloco 8: (a) vista lateral N-S; (b) vista lateral S-N



Figura 14 - Base bloco 8, vista lateral N-S



Figura 15 - Bloco 9: (a) vista frente W-E; vista lateral NE-SW

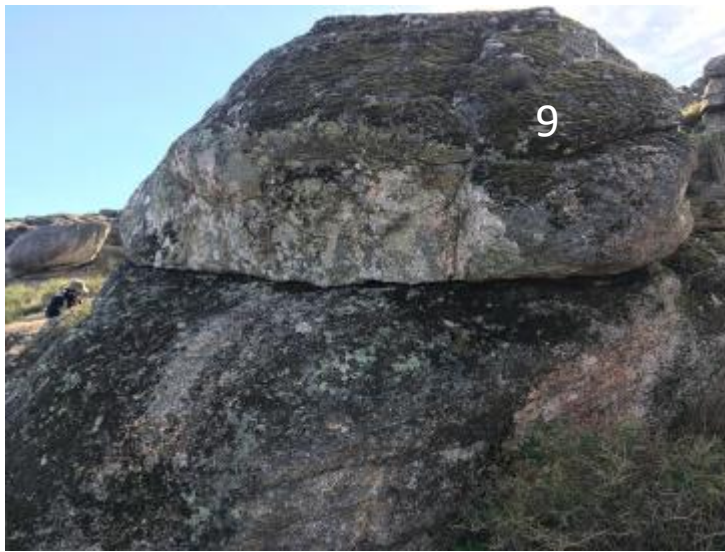


Figura 16 - Base bloco 9, vista lateral NE-SW

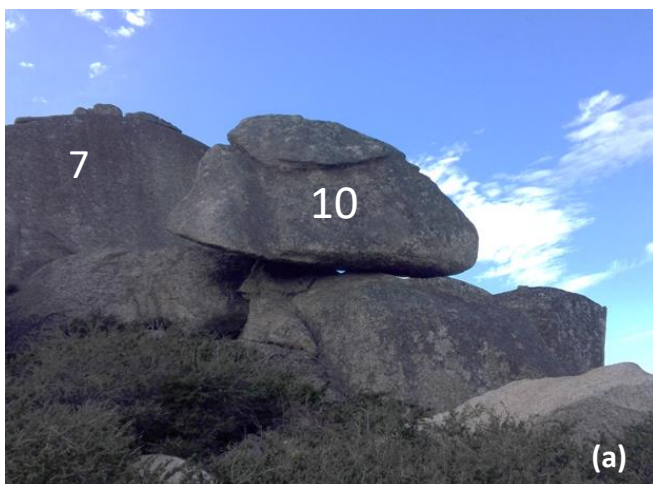


Figura 17 – (a) Bloco 10, vista de frente S-N; (b) Blocos 10 e 11, vista lateral W-E



Figura 18 - Blocos 11, 12 e 7, vista N-S

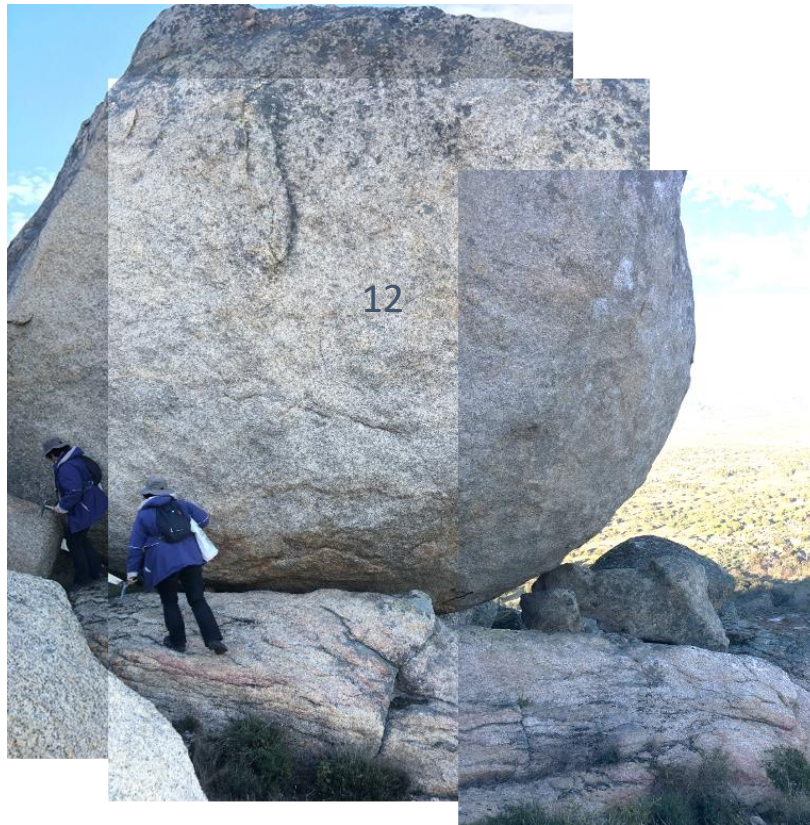


Figura 19 - Bloco 12, vista de trás SW-NE

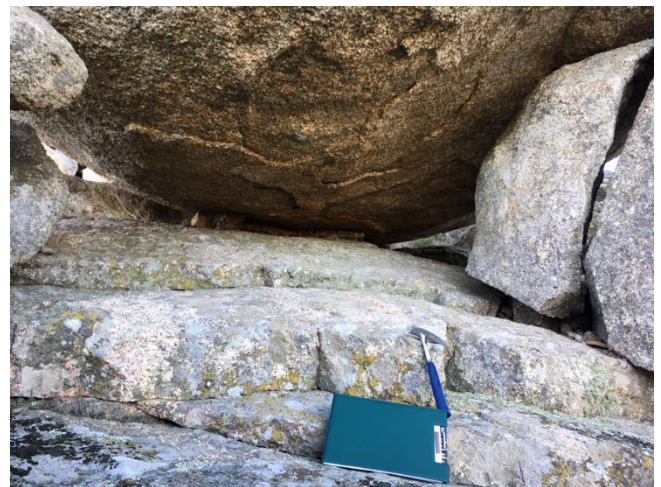


Figura 20 - Base bloco 12



Figura 21 - (a) Base bloco 12 e bloco 13; (b) vista lateral NW-SE



Figura 22 - Bloco 13, vista lateral N-S



Figura 23 - Bloco 14, vista lateral NNW-SSE



Figura 24 – (a) Base bloco 14, vista frente WNW-ESSE; (b) Bloco 15, vista de cima W-E



Figura 25 - Bloco 15, vista lateral N-S

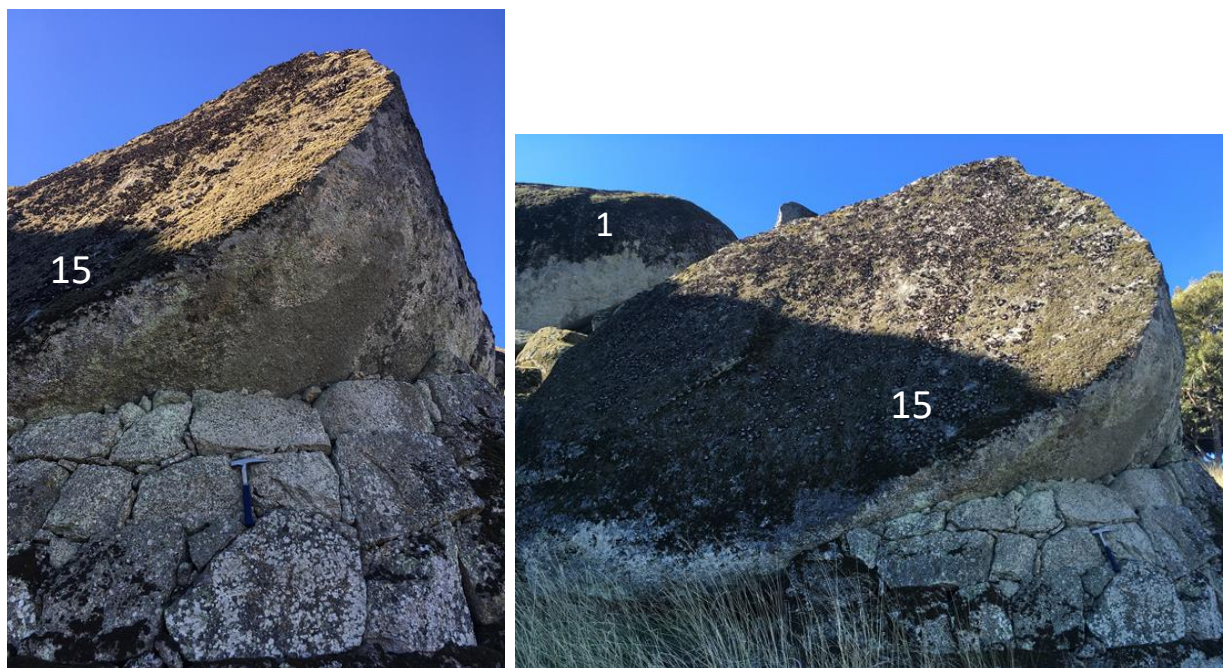


Figura 26 - Bloco 15, vista lateral S-N



Figura 27 - Bloco 16, vista frente E-W



Figura 28 - Blocos 17 e 18, vista lateral E-W

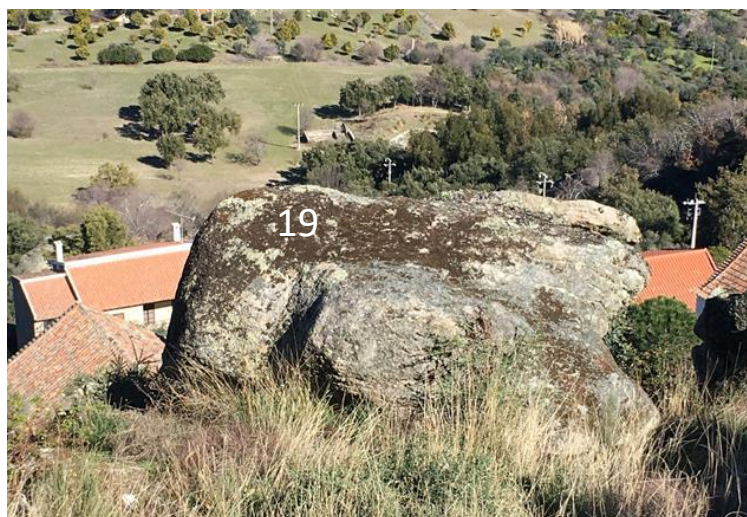


Figura 29 - Bloco 19, vista de cima W-E

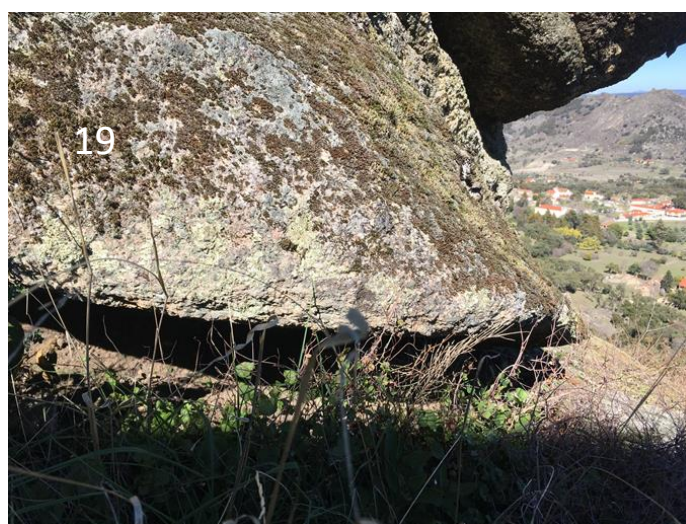
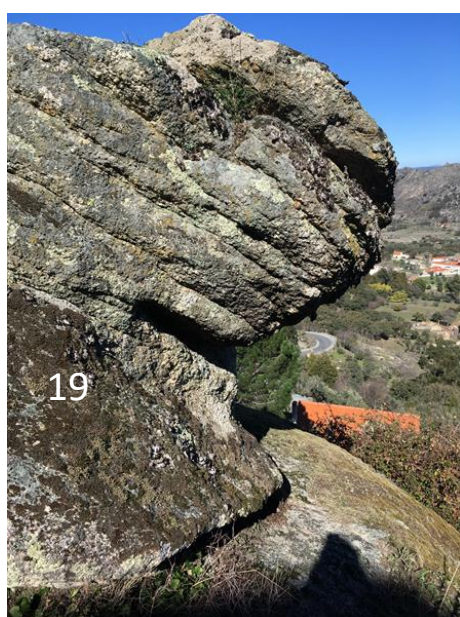


Figura 30 - Bloco 19, vista lateral S-N

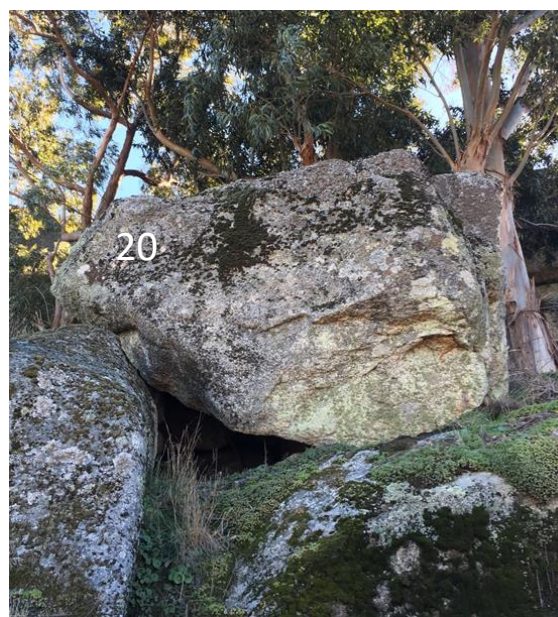


Figura 31 - Bloco 20: (a) vista de lateral NNW-SSE; vista de frente N-S



Figura 32 - Bloco 21: (a) vista de frente W-E; (b) vista lateral S-N



Figura 33 - Base bloco 21



Figura 34 - Blocos 22 e 23, vista SE-NW



Figura 35 - Base bloco 22, vista SE-NW



Figura 36 - Base bloco 23, vista NW-SE



Figura 37 - Base bloco 23, vista de trás SE-NW



Figura 38 - Blocos 24 e 25, vista de baixo SEE-NWW



Figura 39 - Base bloco 24: (a) vista SE-NW; (b) vista NW-SE



Figura 40 - Base bloco 25, vista NW-SE



Figura 41 - Bloco 26, vista S-N



Figura 42 - Base bloco 26



Figura 43 - Bloco 27, vista lateral N-S



(a)



(b)

Figura 44 - Bloco 30: (a) base lateral; bloco vista frente NW-SE



Figura 45 - Base bloco 30



Figura 46 - Bloco 31, vista lateral NE-SW

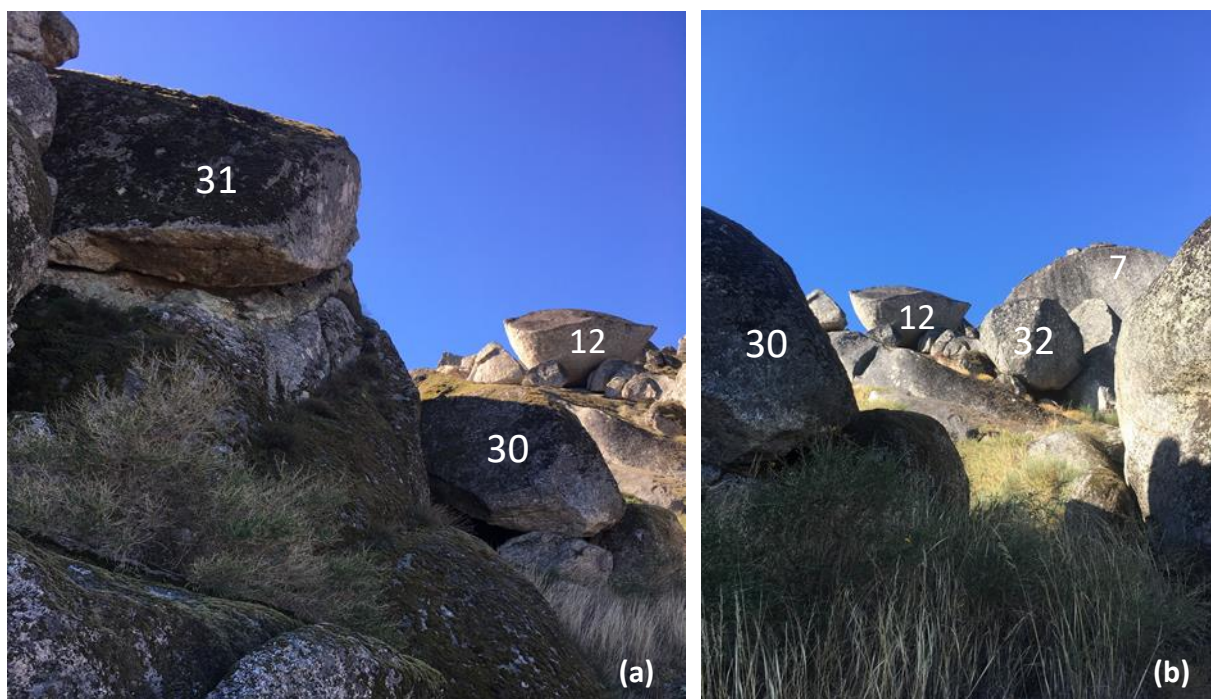


Figura 47 - (a) Bloco 31, vista frente NNW-SSE; (b) Blocos 7, 12, 30 e 32, vista



Figura 48 - "Penedos Juntos de Cima" Blocos 33, vista lateral S-N

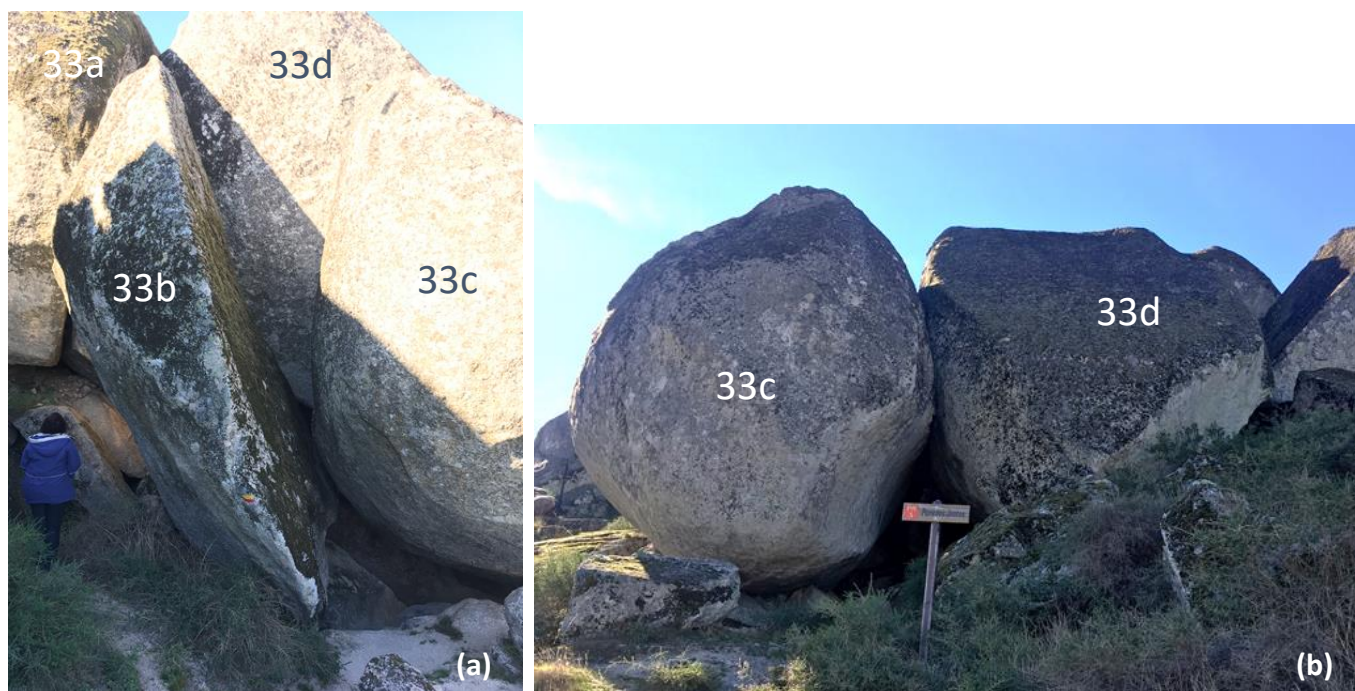


Figura 49 - Blocos 33: (a) vista lateral S-N; (b) vista de frente E-W



Figura 50 - (a) base bloco 33a; (b) vista interior E-W



Figura 51 - Base bloco 33c, vista interior

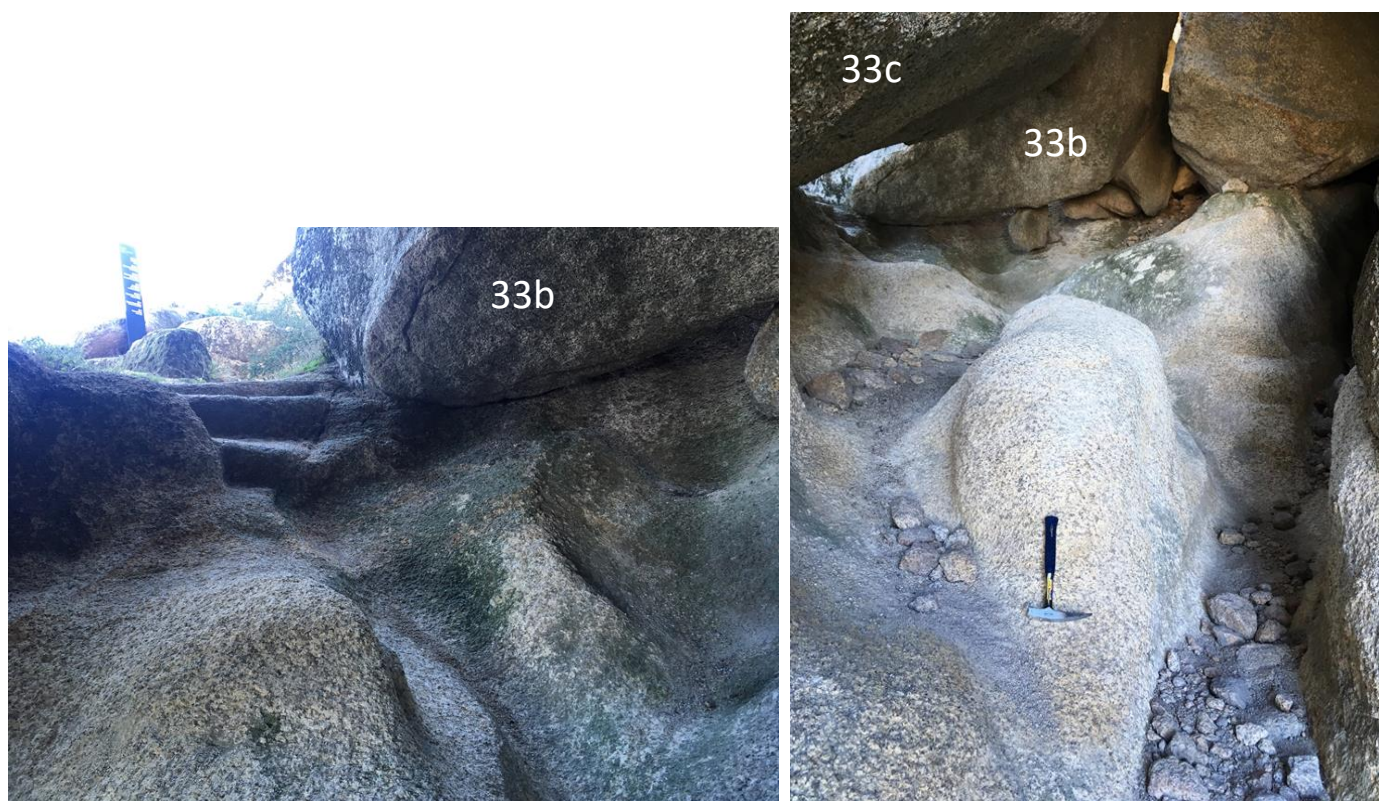


Figura 52 - Vista interior da base dos Penedos Juntos de Cima

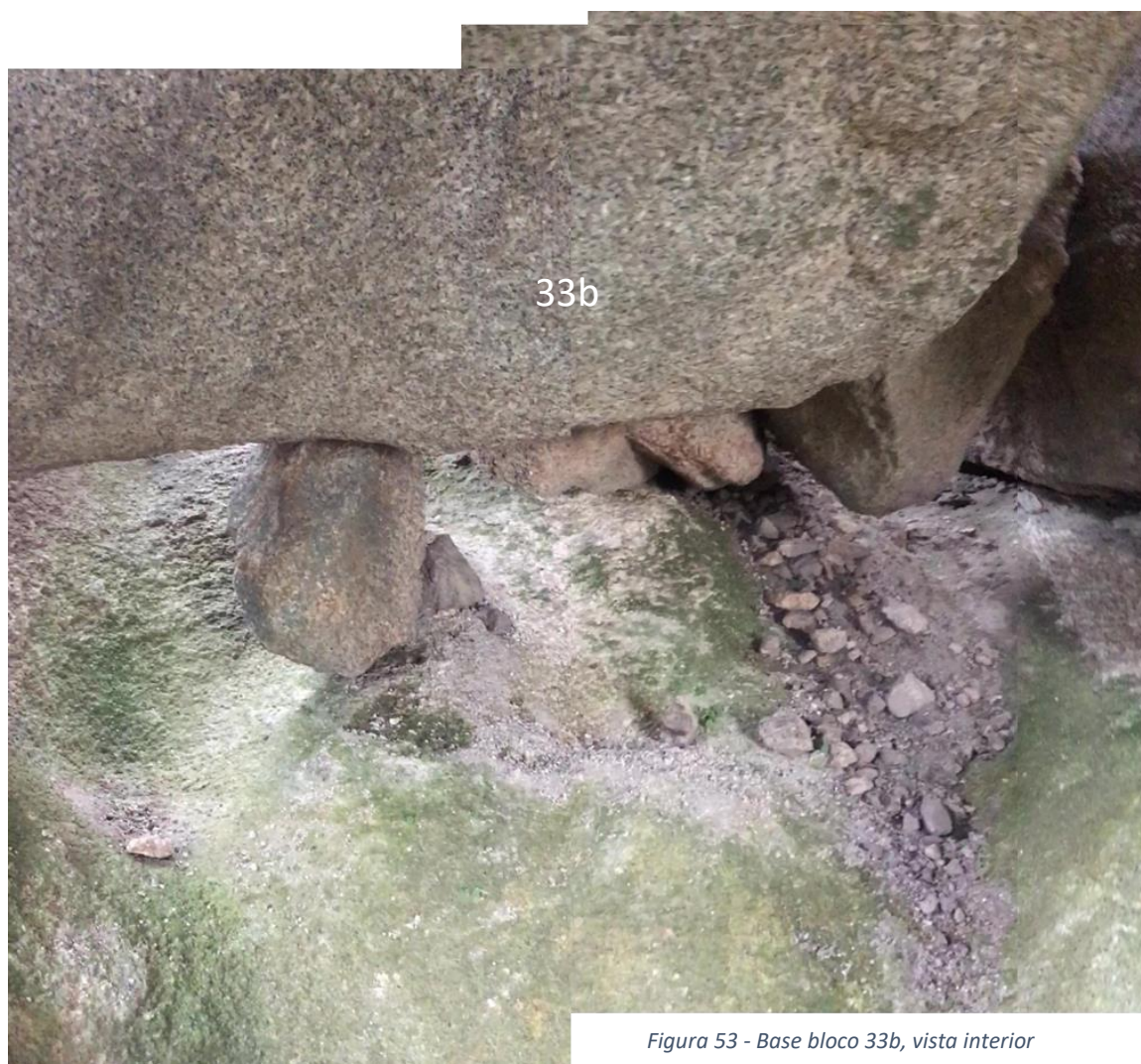


Figura 53 - Base bloco 33b, vista interior

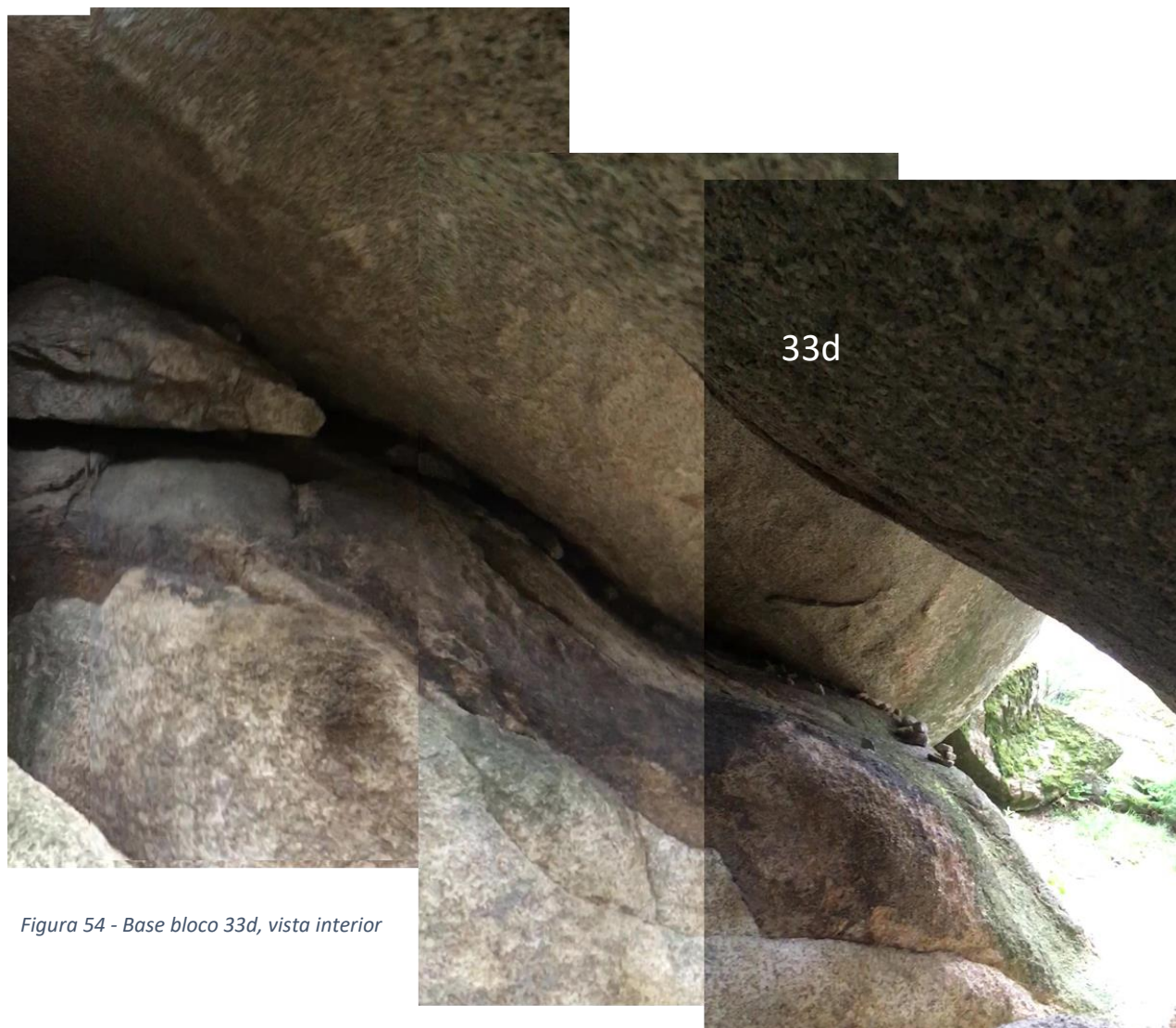


Figura 54 - Base bloco 33d, vista interior



Figura 55 - Base bloco 33d, vista interior



Figura 56 - Escorrência de água na base, vista interior



Figura 57 - Bloco 32: (a) vista lateral SE-NW; (b) vista interior da base



Figura 58 - Bloco 32 e 34, vista lateral SE-NW

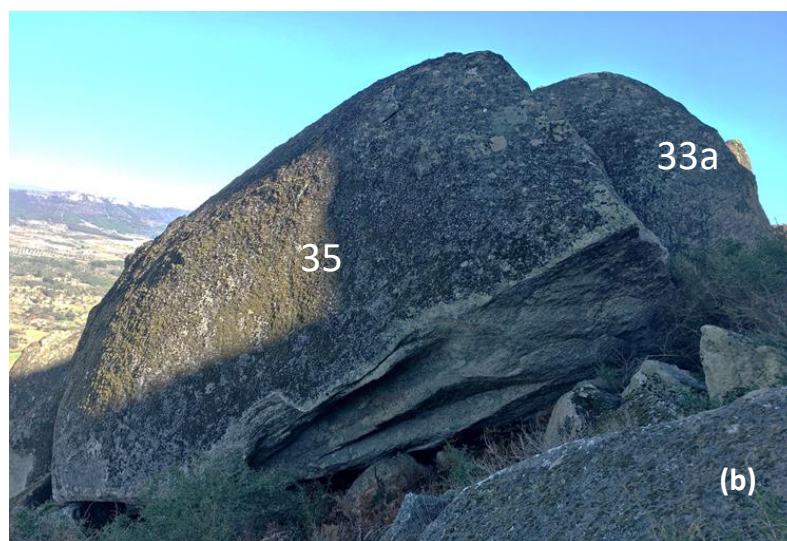


Figura 59 - Bloco 35: (a) vista de trás W-E; vista lateral N-S



Figura 60 - Base bloco 35, vista lateral N-S

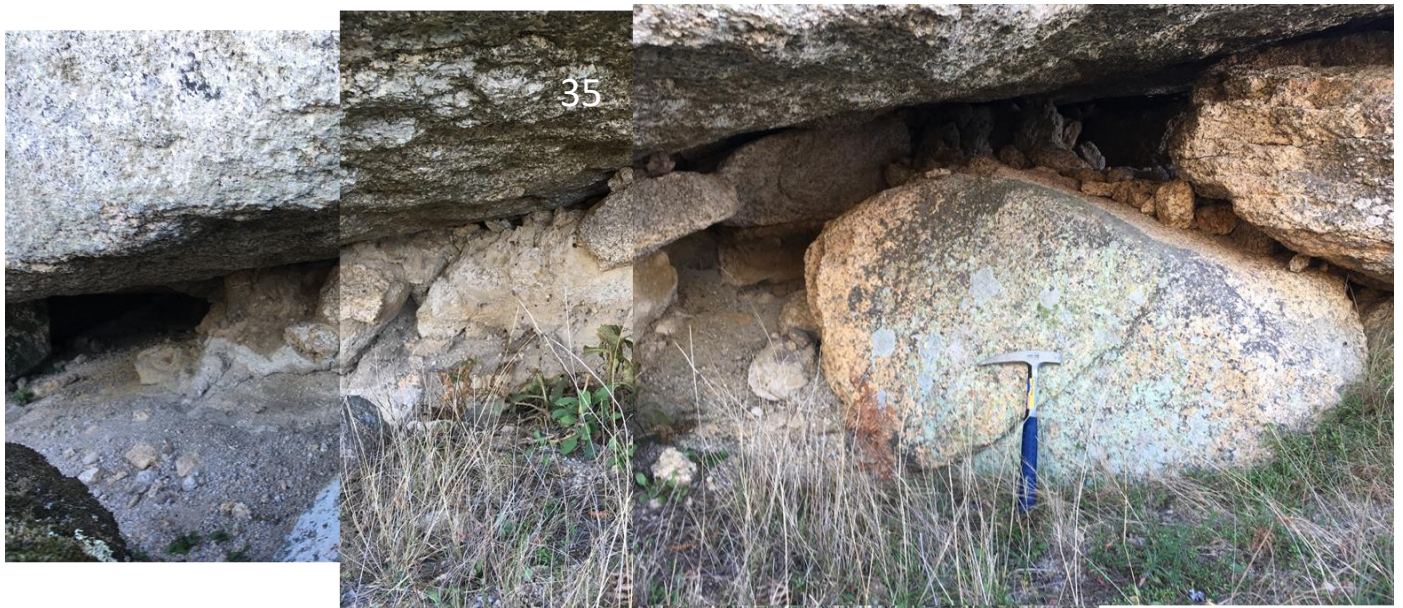


Figura 61 - Base bloco 35, vista de frente E-W

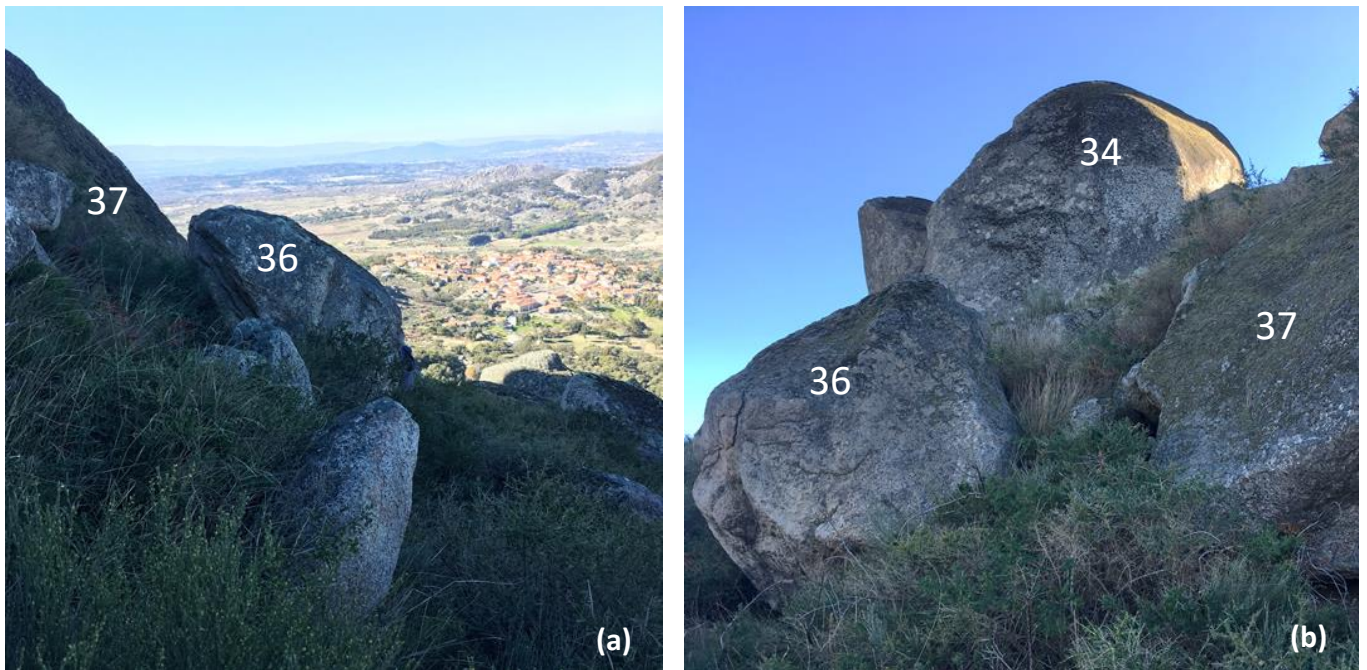


Figura 62 - Blocos 36 e 37: (a) vista lateral W-E; (b) vista lateral E-W



Figura 63 - (a) Alteração no topo do bloco 36; (b) base do bloco 36, vista lateral E-W



Figura 64 - Bloco 37, vista lateral E-W



Figura 65 - Blocos 38 e 39, vista lateral N-S



Figura 66 - Base bloco 38: (a) vista de frente E-W; (b) vista lateral S-N



Figura 67 - Bloco 118, vista lateral N-S

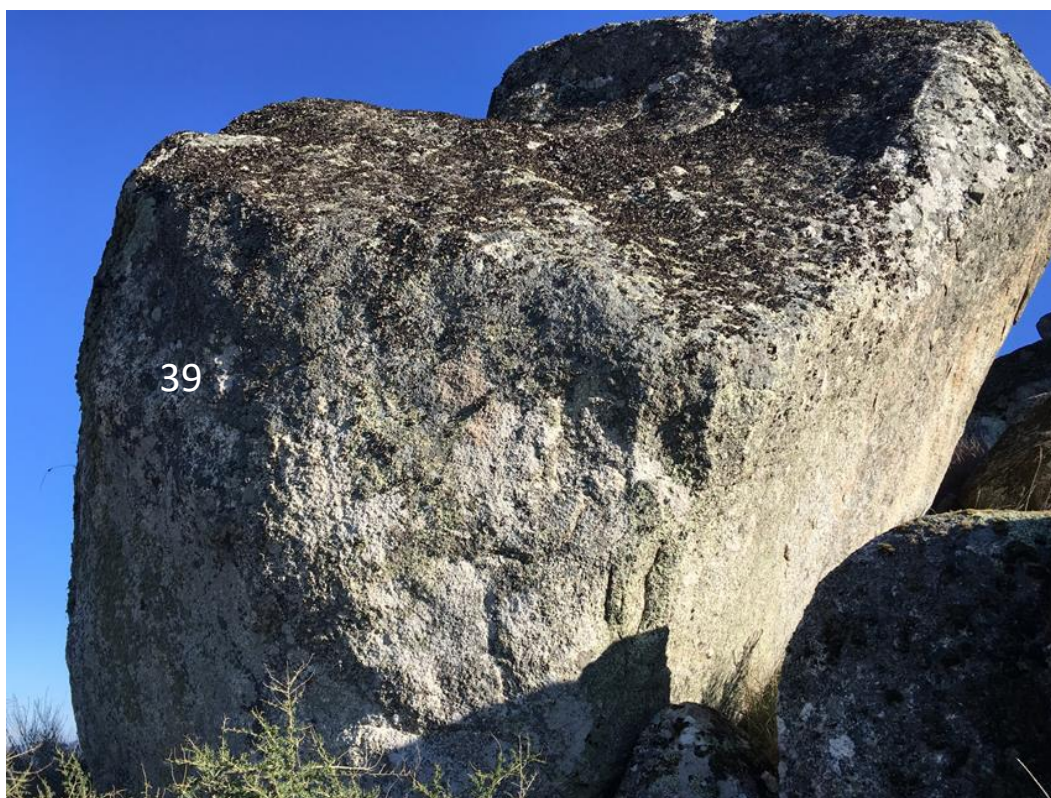


Figura 68 - Bloco 39, vista lateral S-N



Figura 69 - Base bloco 39, vista S-N



Figura 70 - Bloco 117, vista lateral W-E

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Bloco 1: (a) vista lateral SE-NW; (b) vista de frente NE-SW | 1 |
| Figura 2 - Bloco 2, vista de frente E-W | 1 |
| Figura 3 – Bloco 2:(a) vista lateral N-S; (b) base bloco, vista lateral de trás N-S | 1 |
| Figura 4 – (a) “Penedos Juntos de Baixo” Blocos 3 e 4: (a) vista de cima E-W; (b) vista de cima SW-NE..... | 2 |
| Figura 5 – (a) Blocos 2, 3 e 4, vista lateral N-S; (b) Blocos 1 e 5 e base bloco 4, vista lateral N-S | 2 |
| Figura 6 – (a) bloco 3, vista lateral S-N; (b) bloco 3 e 4, vista lateral N-S | 2 |
| Figura 7 – “Mão Fechada” Bloco 6: (a) vista frente W-E; (b) Blocos 6, 28 e 29, vista de trás E-W | 3 |
| Figura 8 - (a) Bloco 6, vista lateral S-N; (b) Blocos 6 e 29, vista lateral N-S | 3 |
| Figura 9 - Base bloco 6 e bloco 29, vista lateral N-S | 3 |
| Figura 10 - "Penedo do Meio Dia" Bloco 7: vista lateral S-N; | 4 |
| Figura 11 - Bloco 7, vista lateral cima N-S..... | 5 |
| Figura 12 - Bloco 7, vista lateral de baixo S-N..... | 5 |
| Figura 13 – Bloco 8: (a) vista lateral N-S; (b) vista lateral S-N..... | 6 |
| Figura 14 - Base bloco 8, vista lateral N-S..... | 6 |
| Figura 15 - Bloco 9: (a) vista frente W-E; vista lateral NE-SW..... | 6 |
| Figura 16 - Base bloco 9, vista lateral NE-SW | 7 |
| Figura 17 – (a) Bloco 10, vista de frente S-N; (b) Blocos 10 e 11, vista lateral W-E..... | 7 |
| Figura 18 - Blocos 11, 12 e 7, vista N-S | 7 |
| Figura 19 - Bloco 12, vista de trás SW-NE | 8 |
| Figura 20 - Base bloco 12 | 8 |
| Figura 21 - (a) Base bloco 12 e bloco 13; (b) vista lateral NW-SE | 9 |
| Figura 22 - Bloco 13, vista lateral N-S | 9 |
| Figura 23 - Bloco 14, vista lateral NNW-SSE | 10 |
| Figura 24 – (a) Base bloco 14, vista frente WNW-ESSE; (b) Bloco 15, vista de cima W-E..... | 10 |
| Figura 25 - Bloco 15, vista lateral N-S | 10 |
| Figura 26 - Bloco 15, vista lateral S-N | 11 |
| Figura 27 - Bloco 16, vista frente E-W..... | 11 |
| Figura 28 - Blocos 16 e 17, vista lateral E-W | 11 |
| Figura 29 - Bloco 19, vista de cima W-E | 12 |
| Figura 30 - Bloco 19, vista lateral S-N | 12 |
| Figura 31 - Bloco 20: (a) vista de lateral NNW-SSE; vista de frente N-S | 12 |
| Figura 32 - Bloco 21: (a) vista de frente W-E; (b) vista lateral S-N..... | 13 |
| Figura 33 - Base bloco 21 | 13 |
| Figura 34 - Blocos 22 e 23, vista SE-NW..... | 13 |
| Figura 35 - Base bloco 22, vista SE-NW..... | 14 |
| Figura 36 - Base bloco 23, vista NW-SE..... | 14 |
| Figura 37 - Base bloco 23, vista de trás SE-NW..... | 14 |
| Figura 38 - Blocos 24 e 25, vista de baixo SEE-NWW..... | 15 |
| Figura 39 - Base bloco 24: (a) vista SE-NW; (b) vista NW-SE | 15 |
| Figura 40 - Base bloco 25, vista NW-SE..... | 16 |
| Figura 41 - Bloco 26, vista S-N..... | 16 |
| Figura 42 - Base bloco 26 | 16 |
| Figura 43 - Bloco 27, vista lateral N-S | 17 |
| Figura 44 - Bloco 30: (a) base lateral; bloco vista frente NW-SE | 17 |
| Figura 45 - Base bloco 30 | 17 |
| Figura 46 - Bloco 31, vista lateral NE-SW | 18 |
| Figura 47 - (a) Bloco 31, vista frente NNW-SSE; (b) Blocos 7, 12, 30 e 32, vista..... | 18 |
| Figura 48 - "Penedos Juntos de Cima" Blocos 33, vista lateral S-N | 18 |

| | |
|--|----|
| Figura 49 - Blocos 33: (a) vista lateral S-N; (b) vista de frente E-W | 19 |
| Figura 50 - (a) base bloco 33a; (b) vista interior E-W..... | 19 |
| Figura 51 - Base bloco 33c, vista interior | 20 |
| Figura 52 - Vista interior da base dos Penedos Juntos de Cima | 21 |
| Figura 53 - Base bloco 33b, vista interior..... | 21 |
| Figura 54 - Base bloco 33d, vista interior..... | 22 |
| Figura 55 - Base bloco 33d, vista interior..... | 22 |
| Figura 56 - Escorrência de água na base, vista interior | 23 |
| Figura 57 - Bloco 32: (a) vista lateral SE-NW; (b) vista interior da base | 24 |
| Figura 58 - Bloco 32 e 34, vista lateral SE-NW | 24 |
| Figura 59 - Bloco 35: (a) vista de trás W-E; vista lateral N-S..... | 25 |
| Figura 60 - Base bloco 35, vista lateral N-S..... | 25 |
| Figura 61 - Base bloco 35, vista de frente E-W | 26 |
| Figura 62 - Blocos 36 e 37: (a) vista lateral W-E; (b) vista lateral E-W | 27 |
| Figura 63 - (a) Alteração no topo do bloco 36; (b) base do bloco 36, vista lateral E-W | 27 |
| Figura 64 - Bloco 37, vista lateral E-W | 28 |
| Figura 65 - Blocos 38 e 39, vista lateral N-S..... | 28 |
| Figura 66 - Base bloco 38: (a) vista de frente E-W; (b) vista lateral S-N | 29 |
| Figura 67 - Bloco 118, vista lateral N-S | 30 |
| Figura 68 - Bloco 39, vista lateral S-N | 30 |
| Figura 69 - Base bloco 39, vista S-N | 31 |
| Figura 70 - Bloco 117, vista lateral W-E | 31 |

Blocos Área 2



Figura 1 - Bloco 41: (a) vista lateral S-N; (b) vista lateral N-S; (c) vista de trás W-E



Figura 2 - Base bloco 41



Figura 3 - Bloco 42: (a) vista frente E-W; (b) base bloco



Figura 4 - Bloco 43, vista E-W



Figura 5 - Bloco 44: (a) vista frente E-W; (b) vista lateral S-N; (c) vista lateral N-S



Figura 7 - Base bloco 44

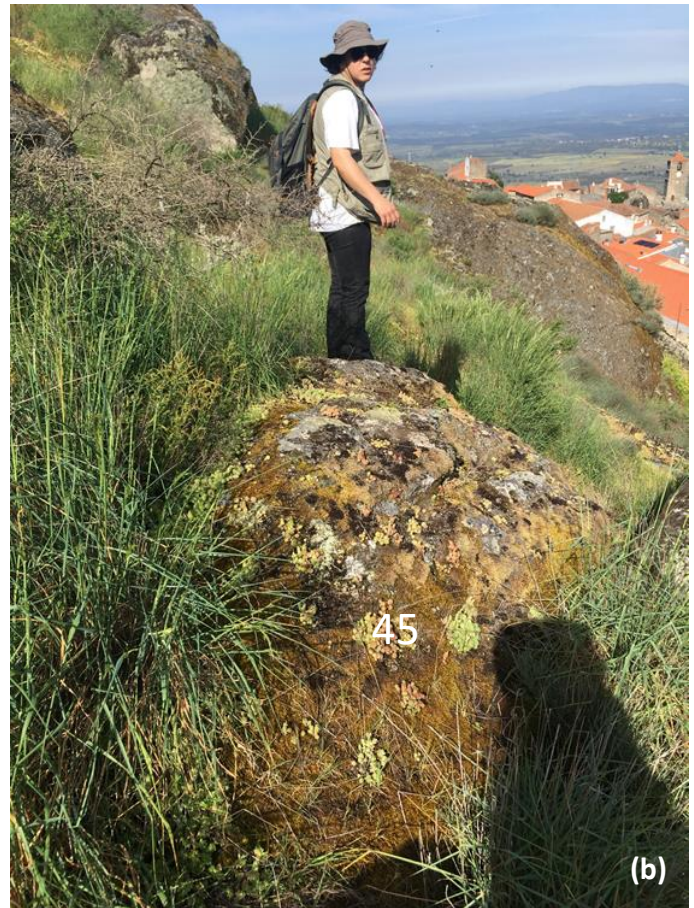


Figura 6 - (a) bloco 44, vista de trás W-E; (b) bloco 45, vista lateral S-N



Figura 9 - Bloco 46: (a) vista de trás W-E; (b) e (c) base do bloco



Figura 8 - Bloco 47: (a) vista lateral S-N; vista lateral N-S



Figura 11 - Base bloco 47



Figura 10 - Bloco 48, vista lateral S-N



Figura 13 - Base bloco 48



Figura 12 - Bloco 48, vista de frente E-W

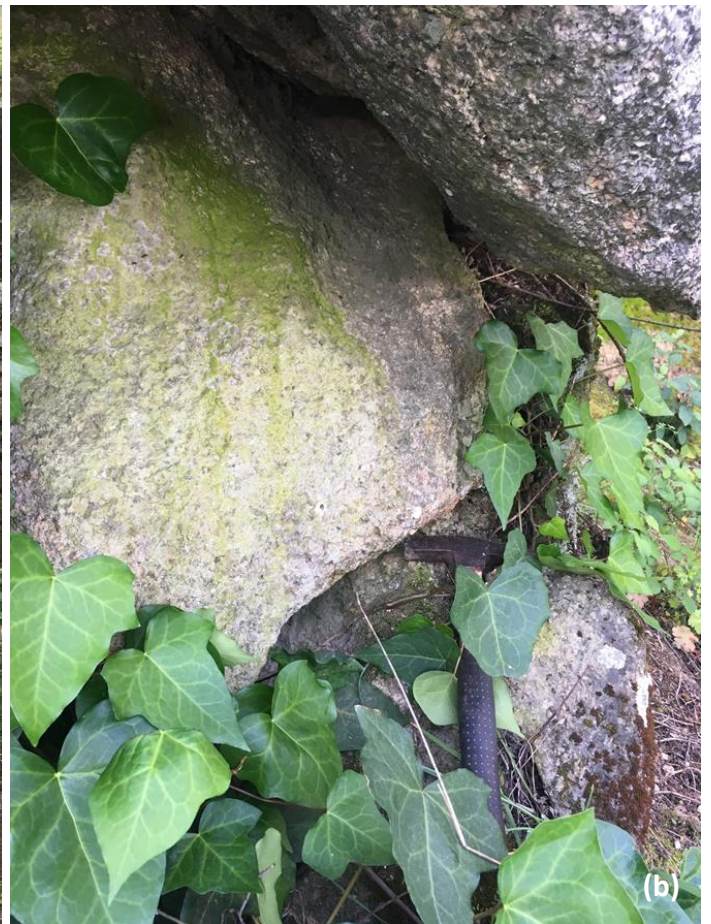


Figura 14 -Bloco 49: (a) vista frente E-W; (b), (c) e (d) base do bloco



Figura 15 - Bloco 50, vista de frente E-W



Figura 16 - Bloco 51, vista lateral S-N

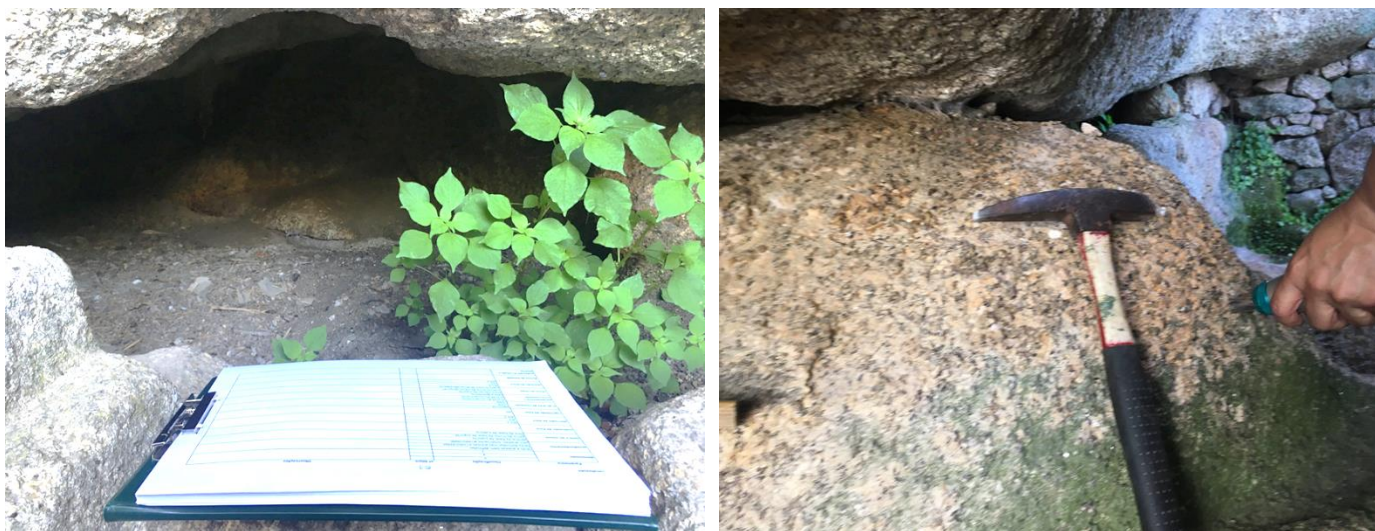


Figura 18 - Base bloco 51

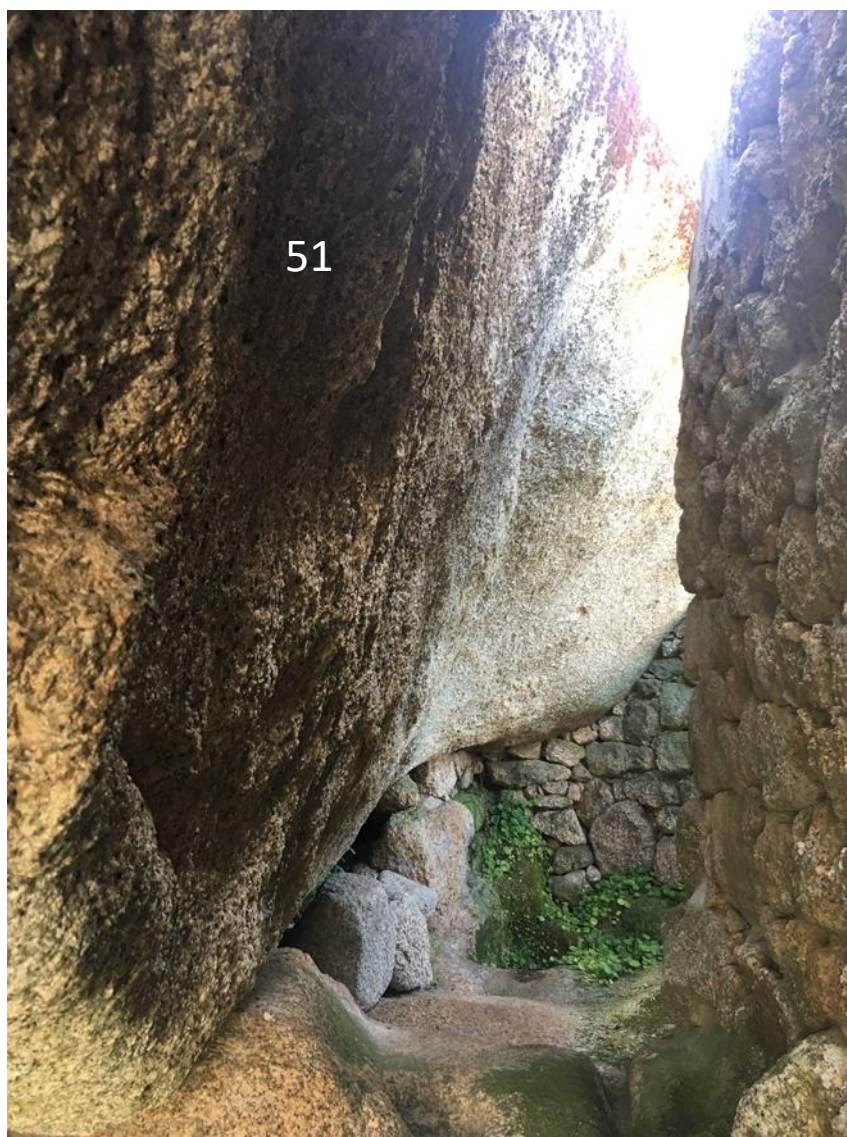


Figura 17 - Bloco 51, vista lateral N-S

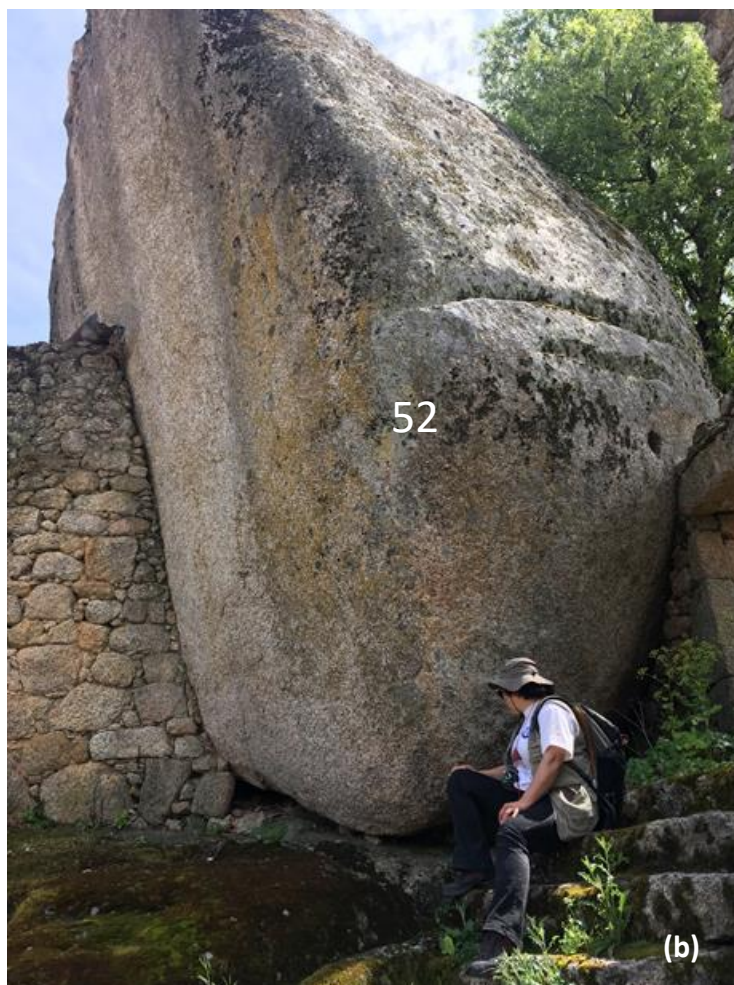


Figura 19 - Bloco 52: (a) vista lateral S-N; (b) vista lateral N-S



Figura 20 - Bloco 52, vista lateral interior S-N



Figura 21 - Bloco 53: (a) vista lateral S-N; (b) vista de frente E-W



Figura 22 - Blocos 54, vista de frente ENE-WSW

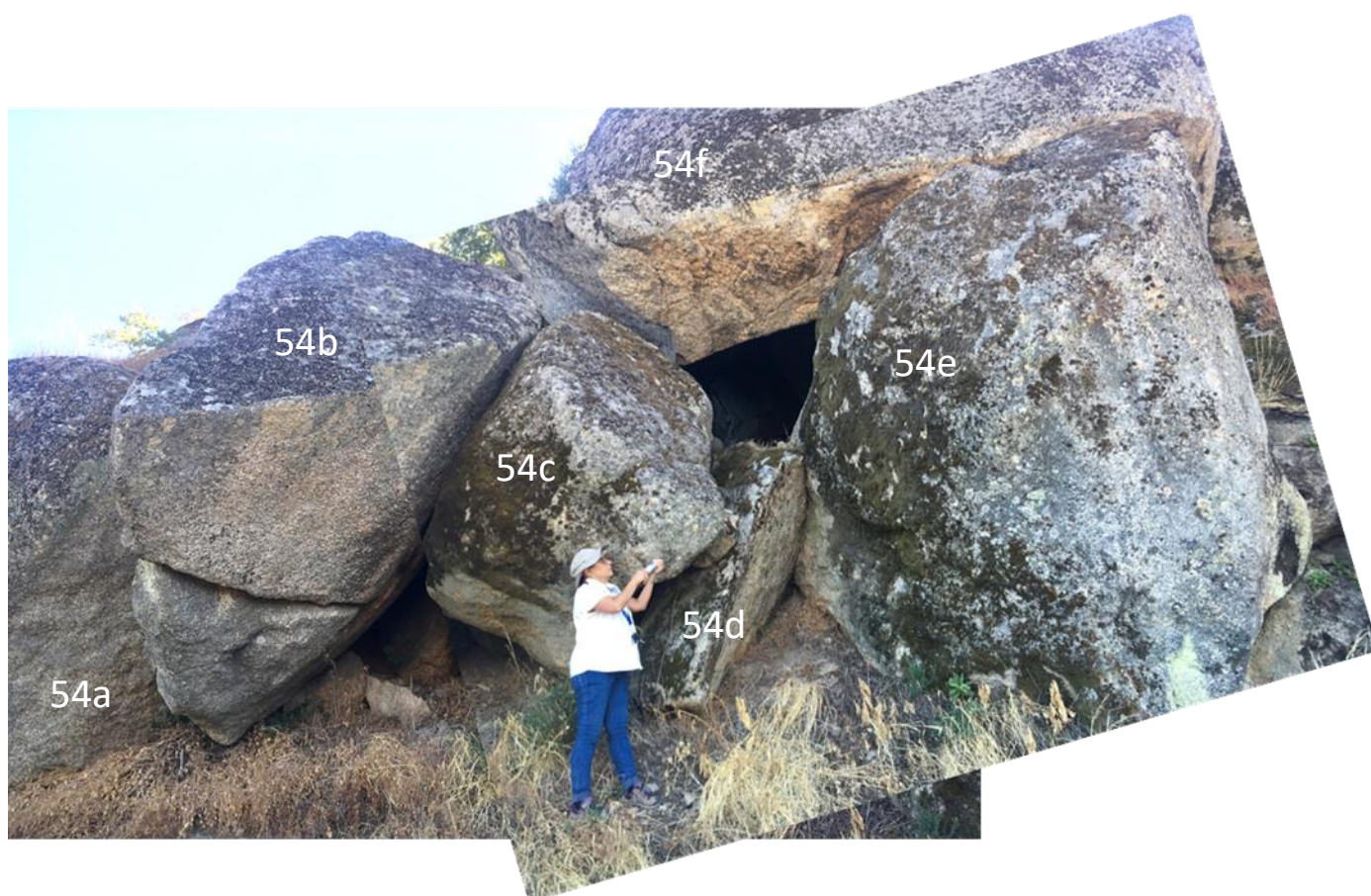


Figura 23 - Blocos 54, vista de frente E-W

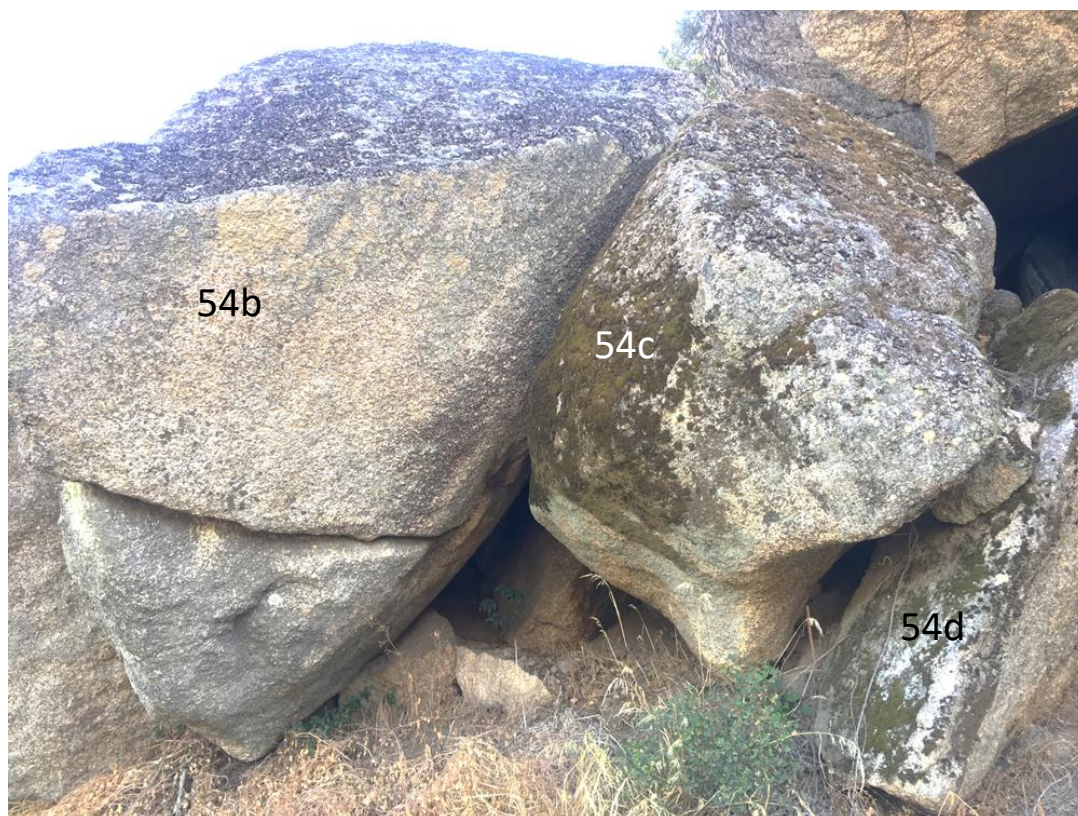


Figura 24 - Base dos blocos 54 b, c e d



Figura 25 - Blocos 54 e estrias de descompressão, vista lateral S-N

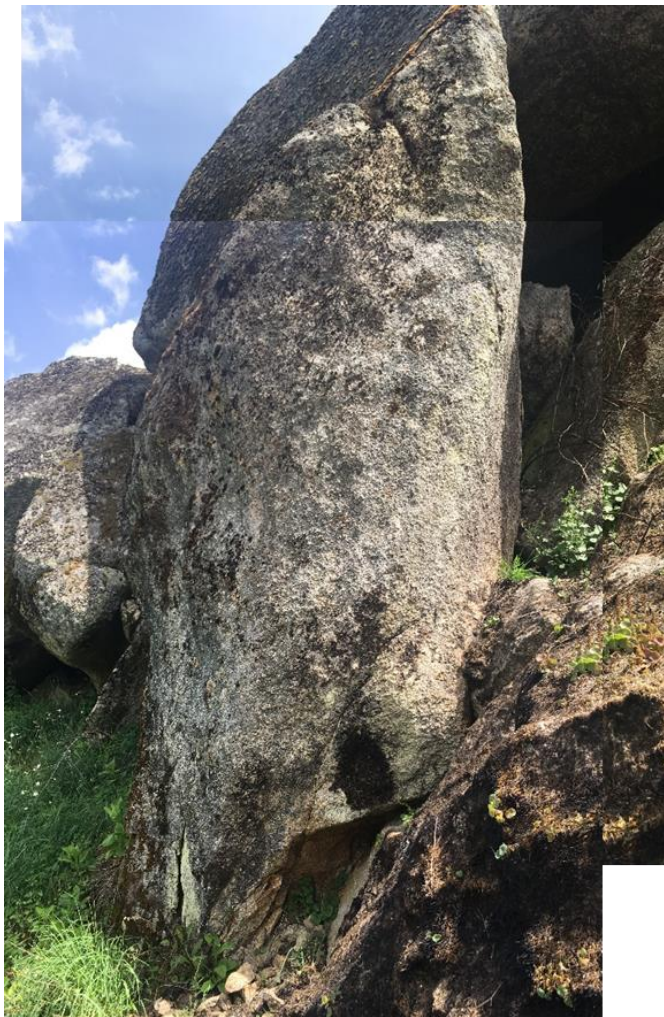


Figura 26 - Base bloco 54e



Figura 27 - Estrias de descompressão, vista lateral S-N



Figura 28 - Base bloco 54f, vista de baixo E-W



Figura 29 - Bloco 55: (a) vista de frente N-S; (b) vista lateral E-W



Figura 30 - Bloco 56: (a) vista de frente NNE-SSW; (b) vista lateral SSE-NNW



Figura 31 - Base bloco 56: (a) vista de frente NNE-SSW; (b) vista lateral NNW-SSE



Figura 32 - Bloco 57, vista lateral E-W



Figura 33 - Base bloco 57, vista de frente N-S



Figura 34 - Bloco 58, vista lateral S-N



Figura 35 - Bloco 58, vista de frente E-W

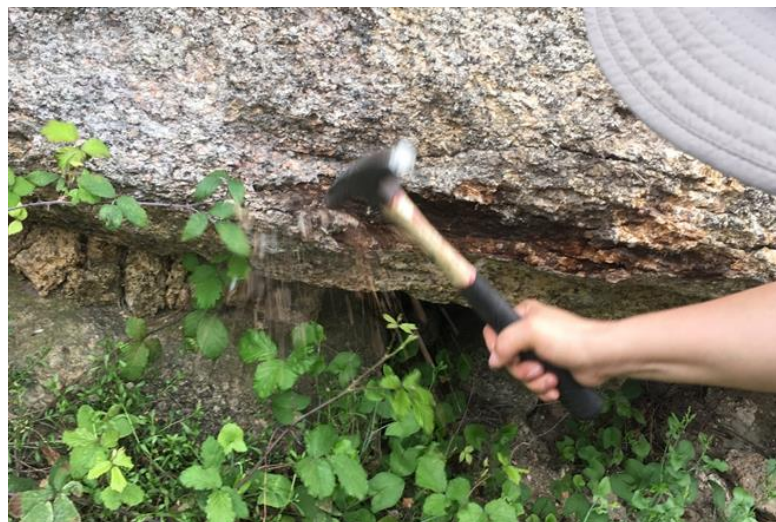


Figura 36 - Base bloco 58

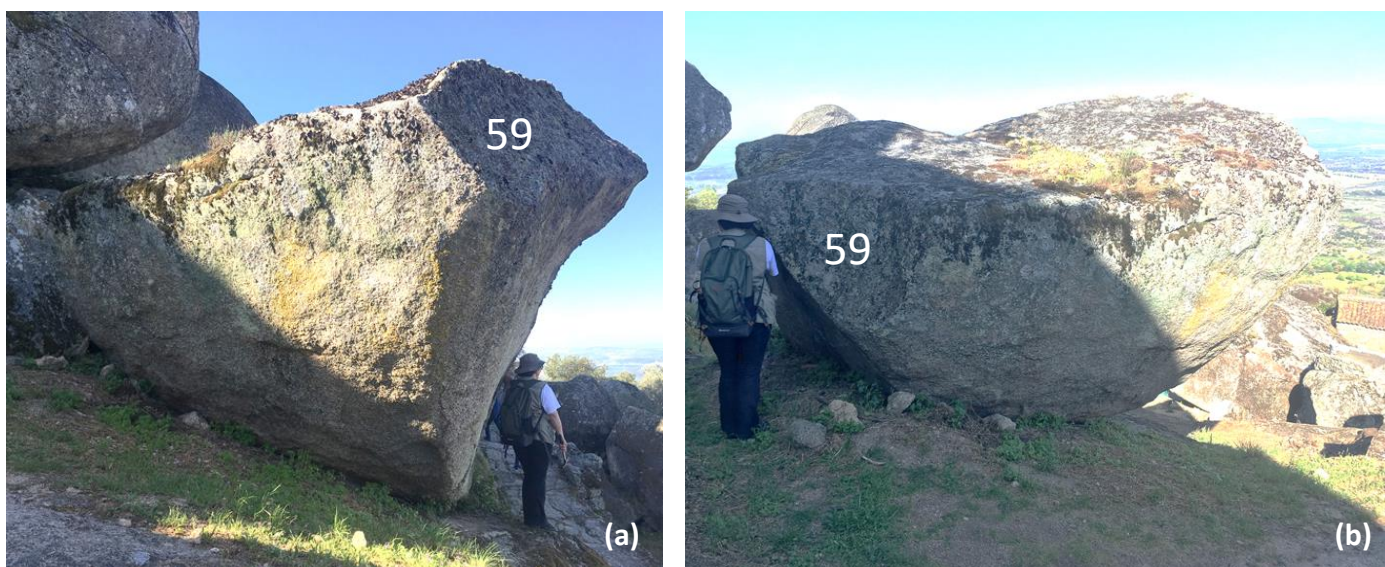


Figura 37 - Bloco 59: (a) vista lateral S-N; (b) vista de trás W-E

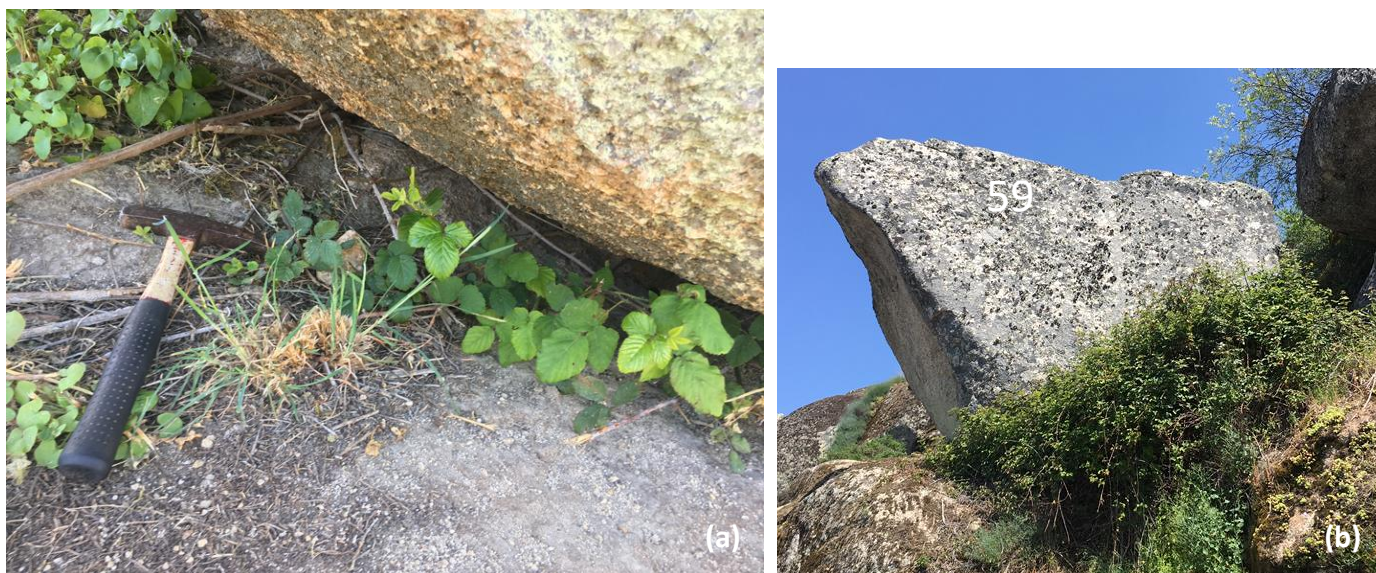


Figura 38 – Bloco 59: (a) base bloco; (b) vista lateral N-S



Figura 39 - Bloco 60, vista lateral S-N

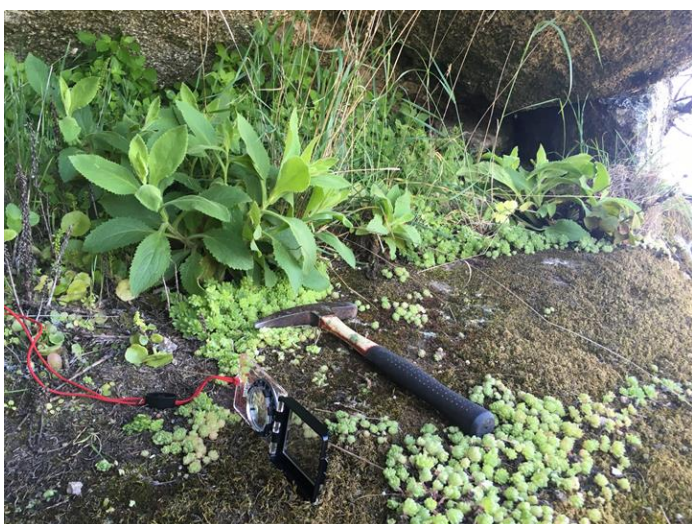


Figura 40 - Base bloco 60

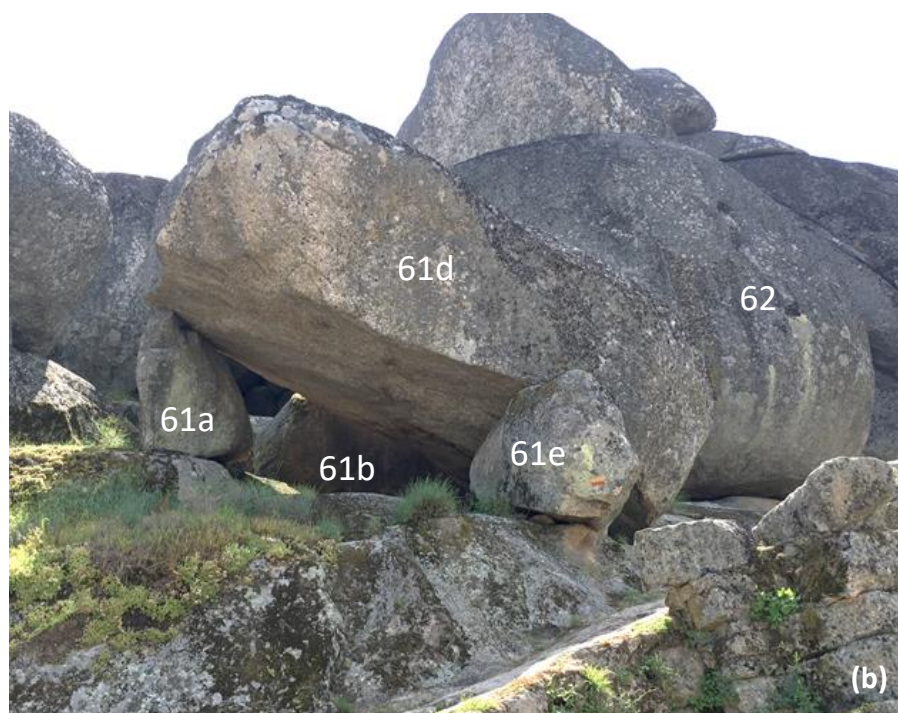


Figura 41 - Blocos 61: (a) vista de trás S-N; (b) vista de frente N-S

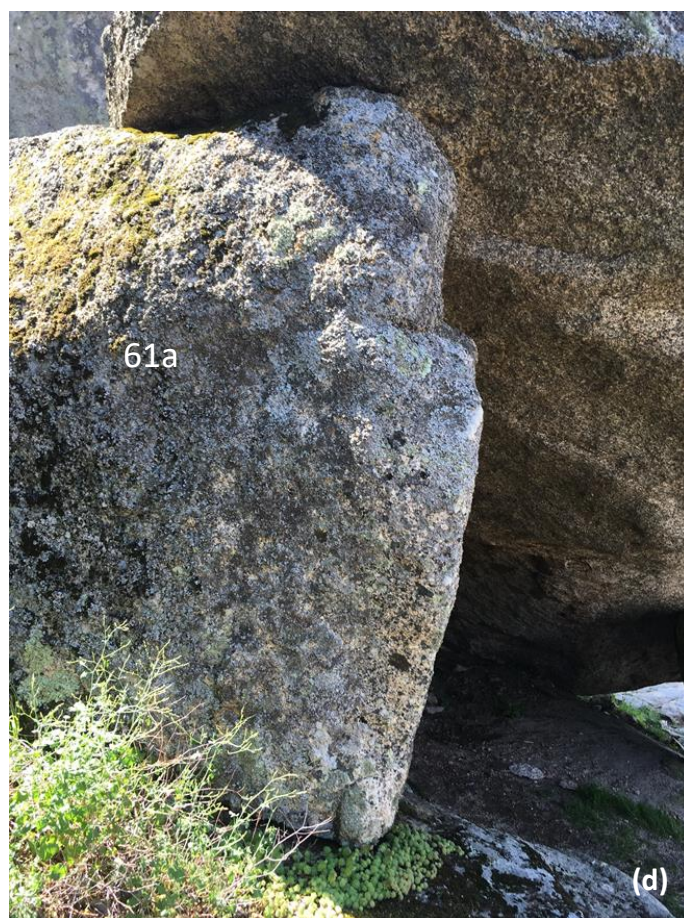
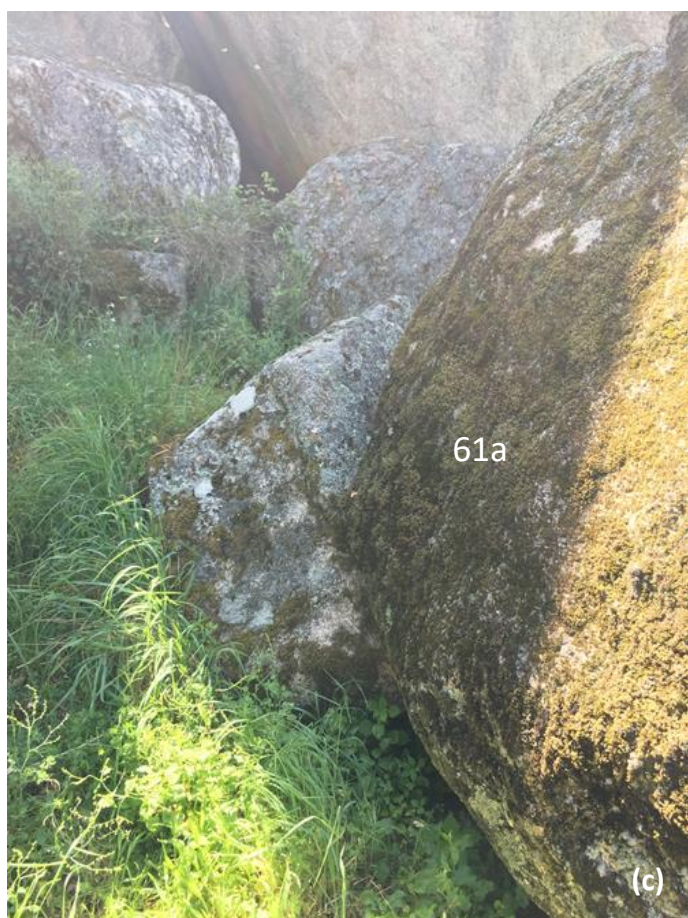
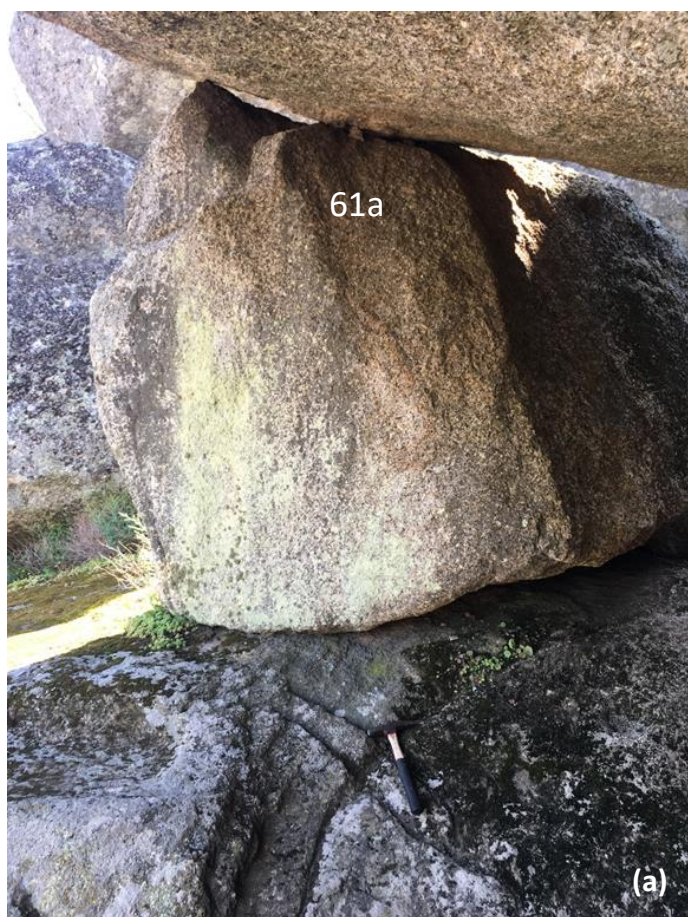


Figura 42 - Bloco 61a: (a) e (b), vista lateral NW-SE; (c) e (d) vista lateral SE-NW

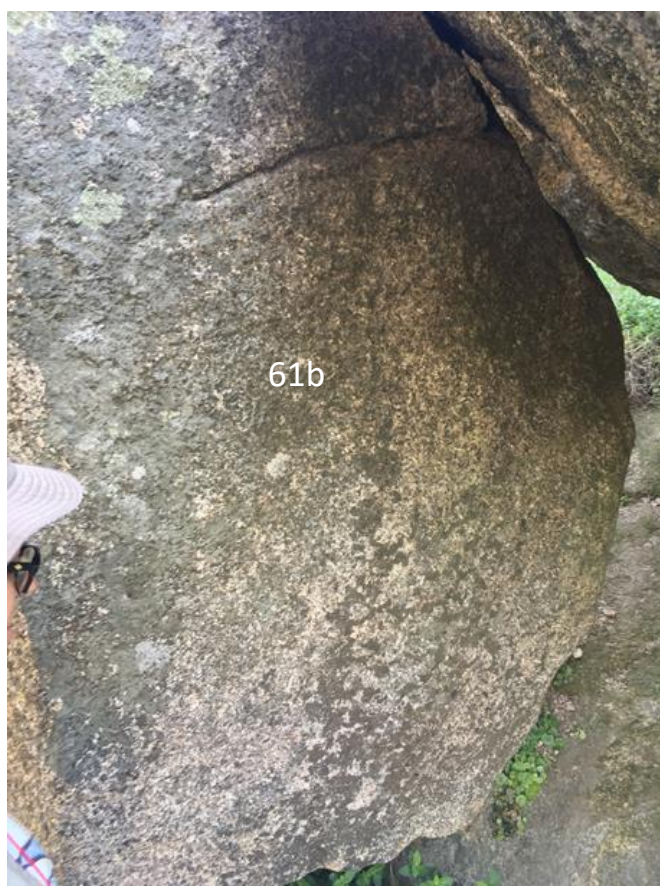


Figura 43 - Bloco 61b, vista lateral NW-SE

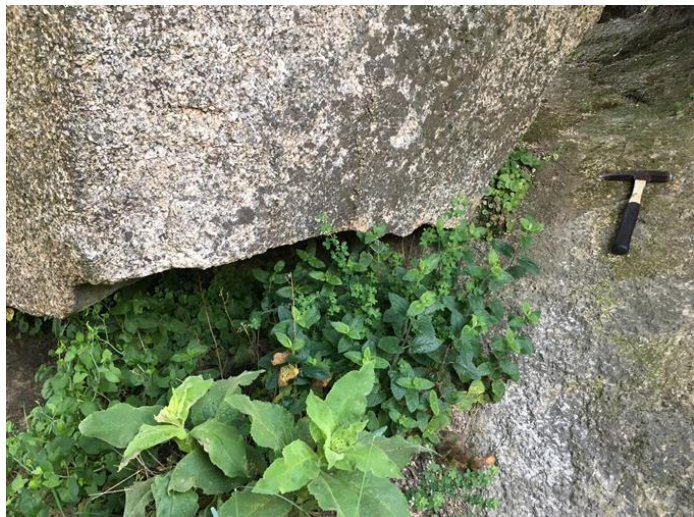


Figura 44 - Base bloco 61b



Figura 45 - Bloco 61c: (a) vista lateral NW-SE; (b) vista de trás S-N

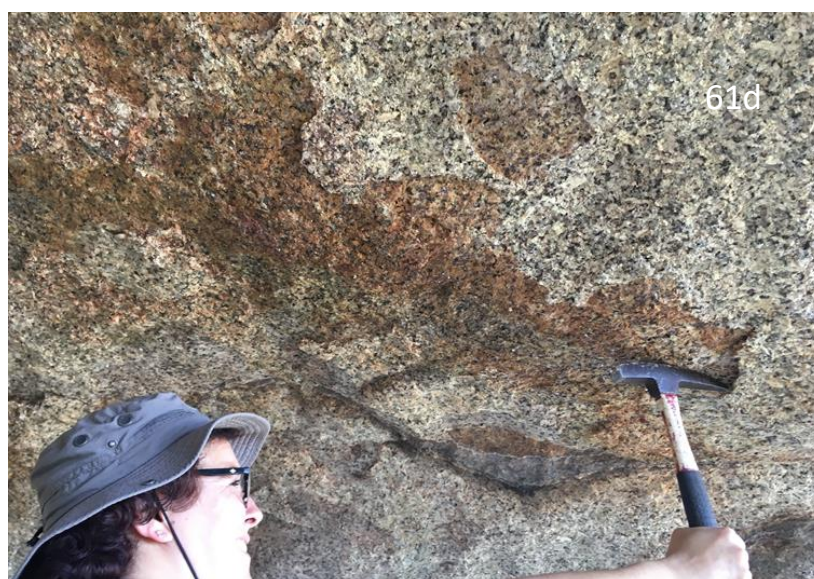
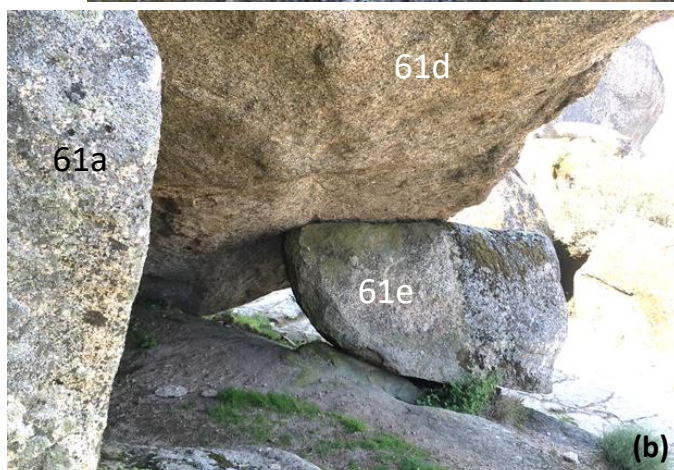
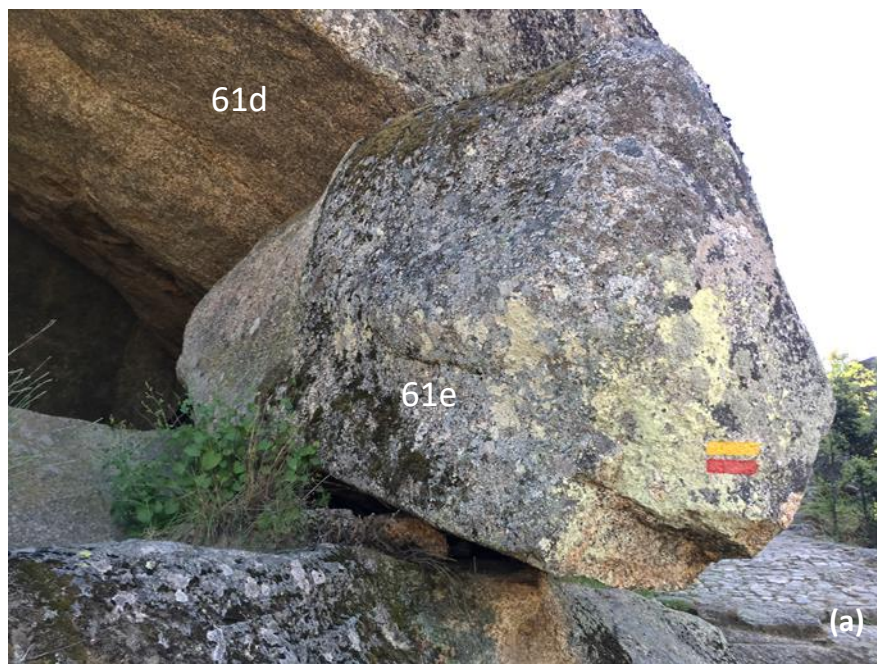


Figura 46 - Bloco 61d, vista da base



Figura 47 - Base bloco 61d, vista de frente N-S



*Figura 48 - Bloco 61e: (a) vista lateral W-E;
(b) vista de trás SE-NW*



Figura 49 - Bloco 61e: (a) vista de frente N-S; (b) vista lateral E-W

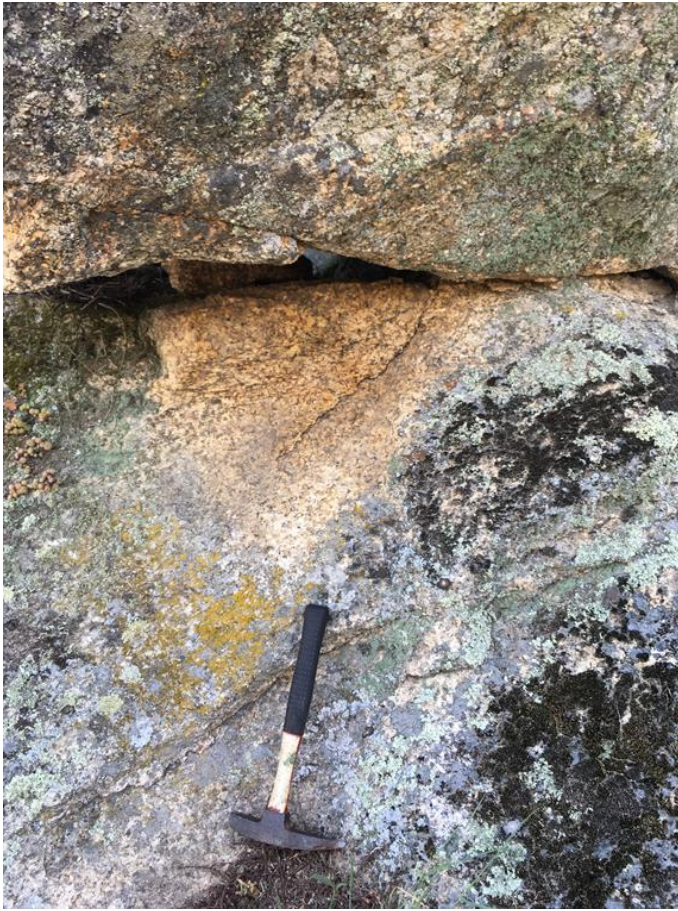


Figura 50 - Base bloco 61e

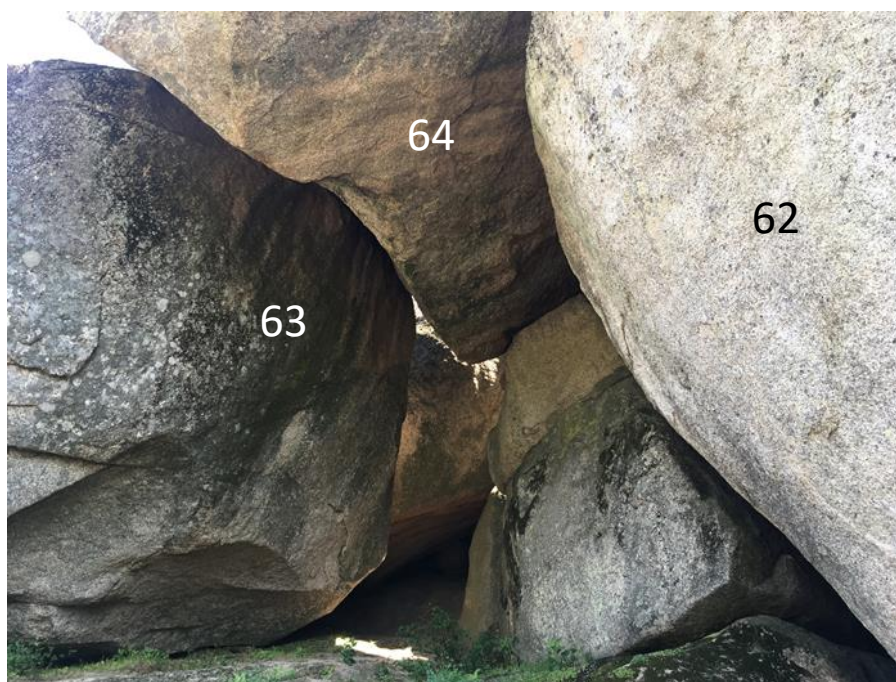


Figura 51 - Blocos 62, 63 e 64, vista de frente NE-SW



Figura 52 - Base bloco 62



Figura 54 - Bloco 63, vista lateral W-E



Figura 53 - Base bloco 63

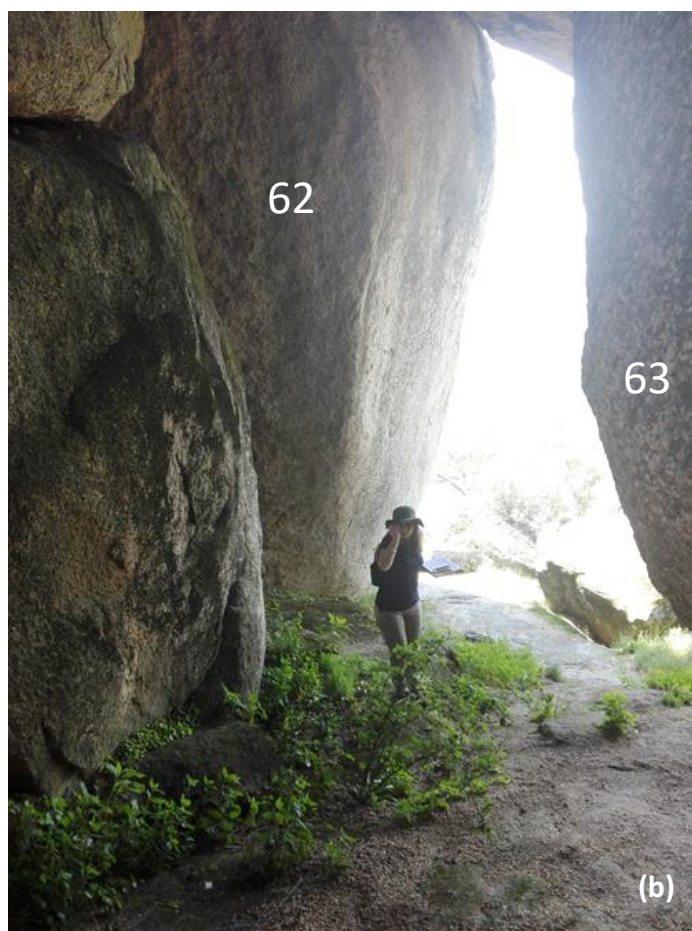


Figura 55 - Blocos 62, 63 e 64: (a) e (b) vista interior SW-NE; (b) vista exterior NE-SW

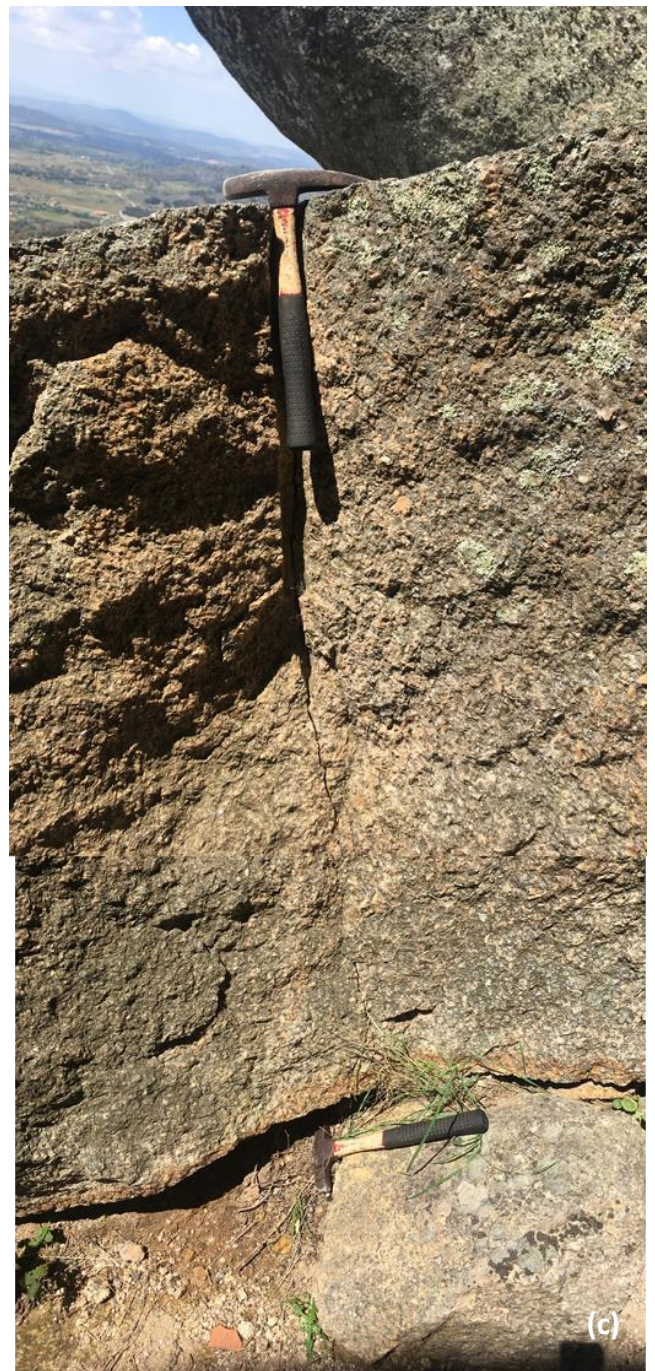


Figura 56 - Bloco 65: (a) vista de frente SW-NE; (b), (c) e (d) vista lateral NW-SE



Figura 57 - Bloco 100, vista de frente E-W

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Bloco 41: (a) vista lateral S-N; (b) vista lateral N-S; (c) vista de trás W-E | 1 |
| Figura 2 - Base bloco 41 | 2 |
| Figura 3 - Bloco 42: (a) vista frente E-W; (b) base bloco..... | 2 |
| Figura 4 - Bloco 43, vista E-W..... | 3 |
| Figura 5 - Bloco 44: (a) vista frente E-W; (b) vista lateral S-N; (c) vista lateral N-S | 3 |
| Figura 6 - (a) bloco 44, vista de trás W-E; (b) bloco 45, vista lateral S-N | 4 |
| Figura 7 - Base bloco 44 | 4 |
| Figura 8 - Bloco 47: (a) vista lateral S-N; vista lateral N-S..... | 5 |
| Figura 9 - Bloco 46: (a) vista de trás W-E; (b) e (c) base do bloco | 5 |
| Figura 10 - Bloco 48, vista lateral S-N | 6 |
| Figura 11 - Base bloco 47 | 6 |
| Figura 12 - Bloco 48, vista de frente E-W..... | 7 |
| Figura 13 - Base bloco 48 | 7 |
| Figura 14 -Bloco 49: (a) vista frente E-W; (b), (c) e (d) base do bloco | 8 |
| Figura 15 - Bloco 50, vista de frente E-W..... | 9 |
| Figura 16 - Bloco 51, vista lateral S-N | 9 |
| Figura 17 - Bloco 51, vista lateral N-S | 10 |
| Figura 18 - Base bloco 51 | 10 |
| Figura 19 - Bloco 52: (a) vista lateral S-N; (b) vista lateral N-S | 11 |
| Figura 20 - Bloco 52, vista lateral interior S-N | 11 |
| Figura 21 - Bloco 53: (a) vista lateral S-N; (b) vista de frente E-W..... | 12 |
| Figura 22 - Blocos 54, vista de frente ENE-WSW | 12 |
| Figura 23 - Blocos 54, vista de frente E-W | 13 |
| Figura 24 - Base dos blocos 54 b, c e d | 14 |
| Figura 25 - Blocos 54 e estrias de descompressão, vista lateral S-N | 14 |
| Figura 26 - Base bloco 54e | 15 |
| Figura 27 - Estrias de descompressão, vista lateral S-N..... | 16 |
| Figura 28 - Base bloco 54f, vista de baixo E-W | 16 |
| Figura 29 - Bloco 55: (a) vista de frente N-S; (b) vista lateral E-W..... | 17 |
| Figura 30 - Bloco 56: (a) vista de frente NNE-SSW; (b) vista lateral SSE-NNW | 17 |
| Figura 31 - Base bloco 56: (a) vista de frente NNE-SSW; (b) vista lateral NNW-SSE..... | 18 |
| Figura 32 - Bloco 57, vista lateral E-W | 18 |
| Figura 33 - Base bloco 57, vista de frente N-S | 19 |
| Figura 34 - Bloco 58, vista lateral S-N | 19 |
| Figura 35 - Bloco 58, vista de frente E-W..... | 20 |
| Figura 36 - Base bloco 58 | 20 |
| Figura 37 - Bloco 59: (a) vista lateral S-N; (b) vista de trás W-E..... | 21 |
| Figura 38 – Bloco 59: (a) base bloco; (b) vista lateral N-S..... | 21 |
| Figura 39 - Bloco 60, vista lateral S-N | 21 |
| Figura 40 - Base bloco 60 | 22 |
| Figura 41 - Blocos 61: (a) vista de trás S-N; (b) vista de frente N-S | 23 |
| Figura 42 - Bloco 61a: (a) e (b), vista lateral NW-SE; (c) e (d) vista lateral SE-NW | 24 |
| Figura 43 - Bloco 61b, vista lateral NW-SE..... | 25 |
| Figura 44 - Base bloco 61b | 25 |
| Figura 45 - Bloco 61c: (a) vista lateral NW-SE; (b) vista de trás S-N | 26 |
| Figura 46 - Bloco 61d, vista da base..... | 26 |
| Figura 47 - Base bloco 61d, vista de frente N-S | 27 |
| Figura 48 - Bloco 61e: (a) vista lateral W-E; (b) vista de trás SE-NW | 27 |

| | |
|---|----|
| Figura 49 - Bloco 61e: (a) vista de frente N-S; (b) vista lateral E-W..... | 28 |
| Figura 50 - Base bloco 61e | 29 |
| Figura 51 - Blocos 62, 63 e 64, vista de frente NE-SW | 30 |
| Figura 52 - Base bloco 62 | 30 |
| Figura 53 - Base bloco 63 | 31 |
| Figura 54 - Bloco 63, vista lateral W-E | 31 |
| Figura 55 - Blocos 62, 63 e 64: (a) e (b) vista interior SW-NE; (b) vista exterior NE-SW..... | 32 |
| Figura 56 - Bloco 65: (a) vista de frente SW-NE; (b), (c) e (d) vista lateral NW-SE..... | 33 |
| Figura 57 - Bloco 100, vista de frente E-W..... | 34 |

Blocos da Área 3



Figura 1 - Bloco 66: (a) vista de frente E-W; (b) vista lateral N-S



Figura 2 - Base bloco 66



Figura 3 - Bloco 67, vista de trás E-W



Figura 4 - Blocos 67 e 68, vista de trás E-W

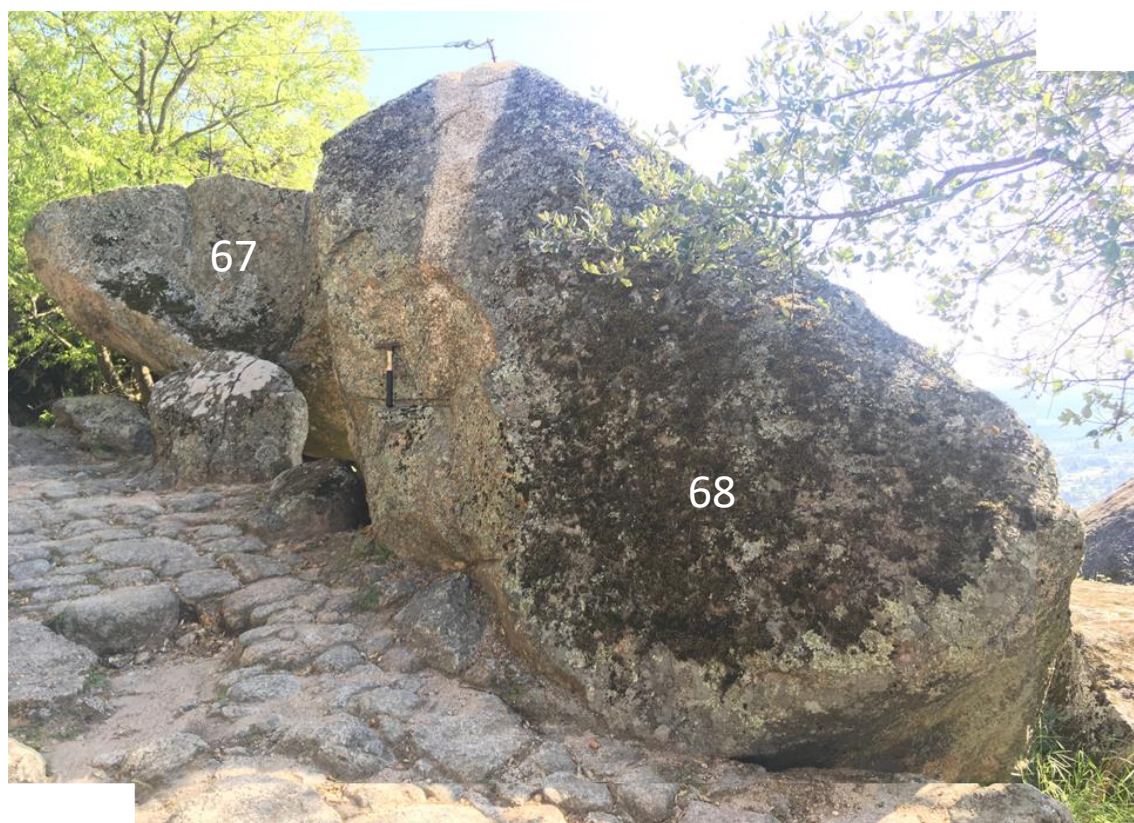


Figura 5 - Blocos 67 e 68, vista de frente W-E



Figura 6 - Bloco 69: (a) vista lateral S-N; (b) vista frente E-W

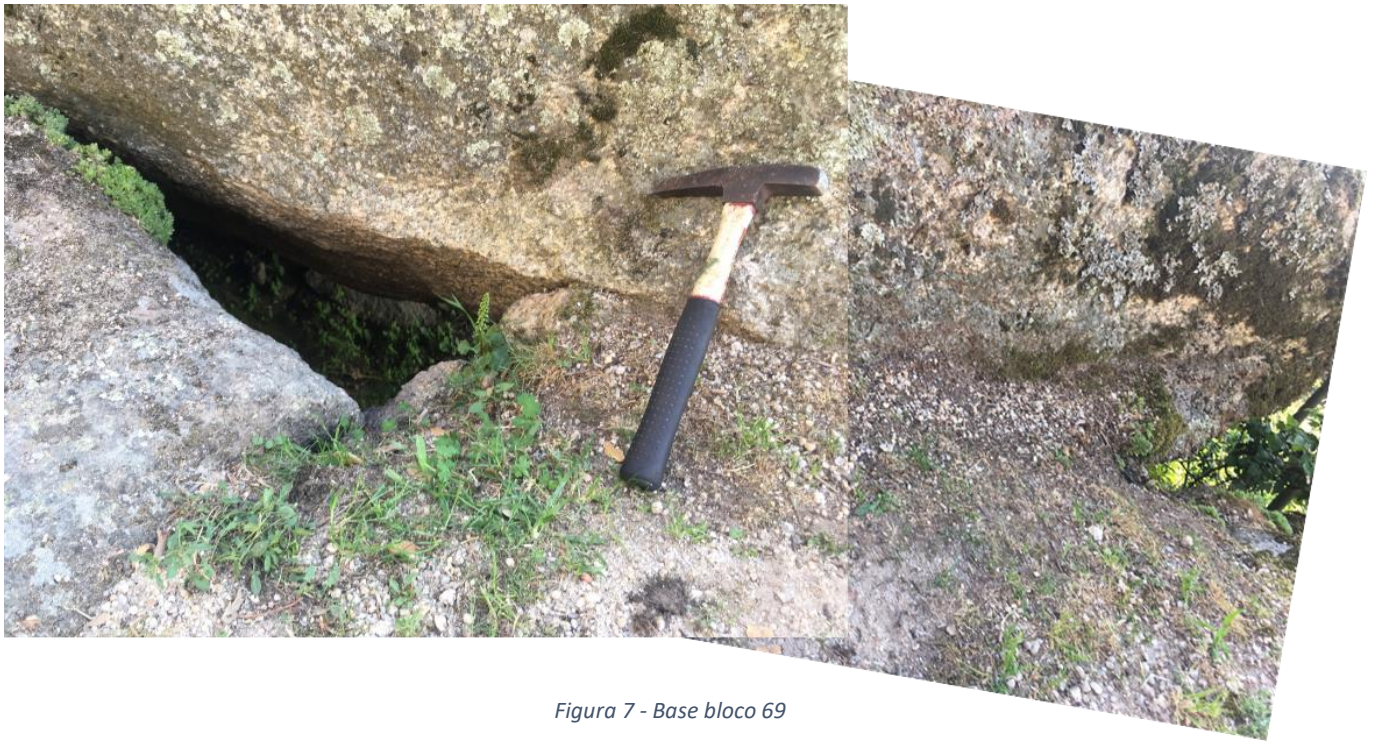


Figura 7 - Base bloco 69



Figura 8 - Bloco 70: (a) vista lateral W-E; (b) vista de trás S-N



Figura 9 - Bloco 71, vista de frente ESE-NWN



Figura 10 - Bloco 71, vista de trás WNW-ESE



Figura 11 - Base bloco 71



Figura 12 - Bloco 72: (a) vista de frente ESE-NWN; (b) vista lateral SW-NE



Figura 14 - Base bloco 72



Figura 13 - Blocos 73 e 74: (a) vista lateral WNW-ESSE; (b) vista lateral SE-NW



Figura 15 - Base blocos 73 e 74



Figura 16 - Blocos 72, 73, 74 e 75, vista de trás N-S



Figura 17 - Bloco 75, vista lateral W-E

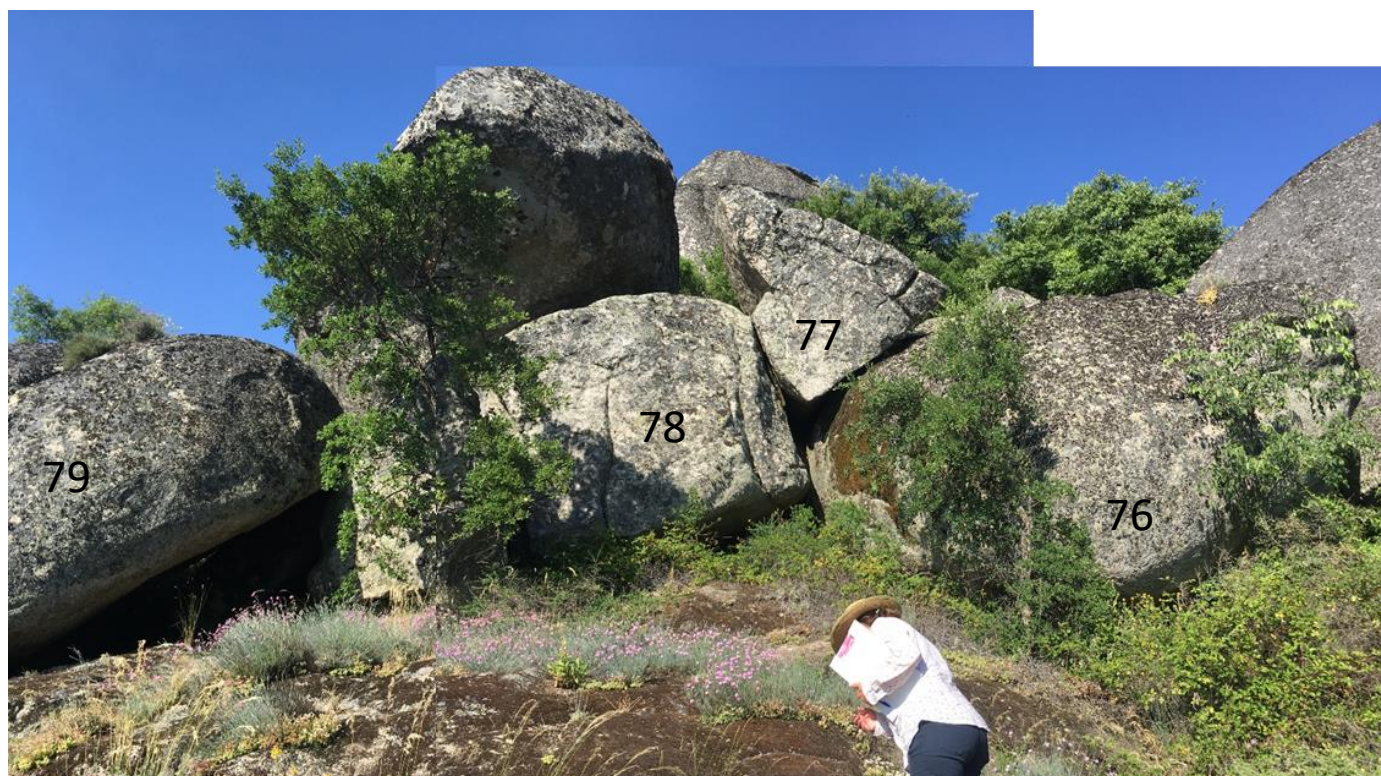


Figura 18 - Blocos 76, 77, 78 e 79, vista de frente S-N



Figura 19 - Base bloco 76



Figura 20 - Base bloco 78



Figura 21 - Base bloco 79



Figura 22 - Bloco 80, vista de frente E-W



Figura 23 - Base bloco 80, vista lateral N-S



Figura 24 - Bloco 81, vista lateral NW-SE



Figura 25 - Base bloco 81: (a) vista lateral NW-SE; (b) vista de frente NE-SW

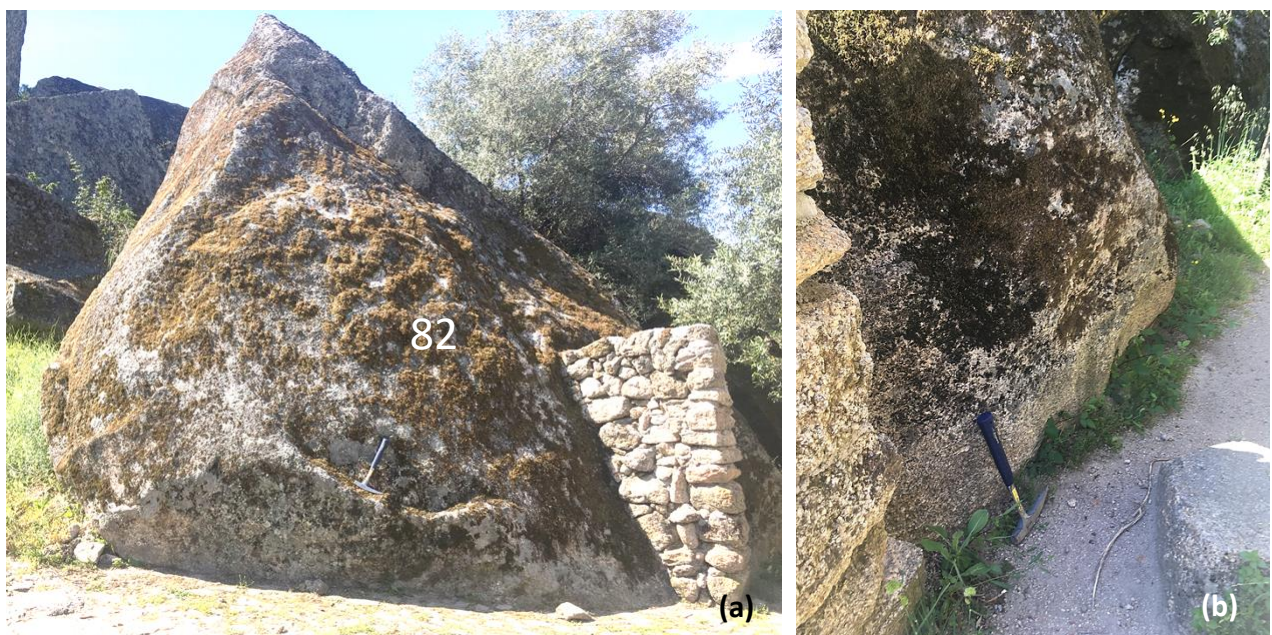


Figura 26 - Bloco 82: (a) vista de frente W-E; (b) base do bloco



Figura 27 - Bloco 83, vista lateral W-E



Figura 28 - Base bloco 83



Figura 29 - Bloco 84, vista de cima N-S

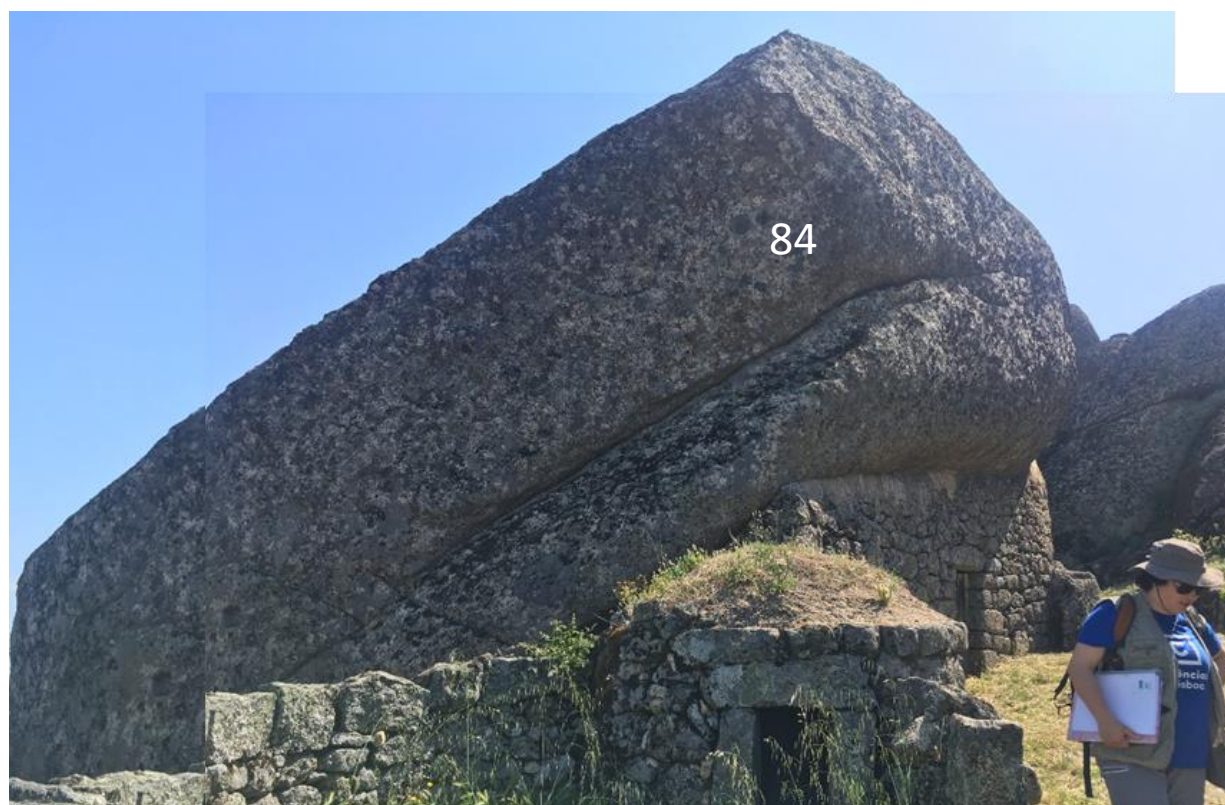


Figura 30 - Bloco 84, vista lateral NW-SE

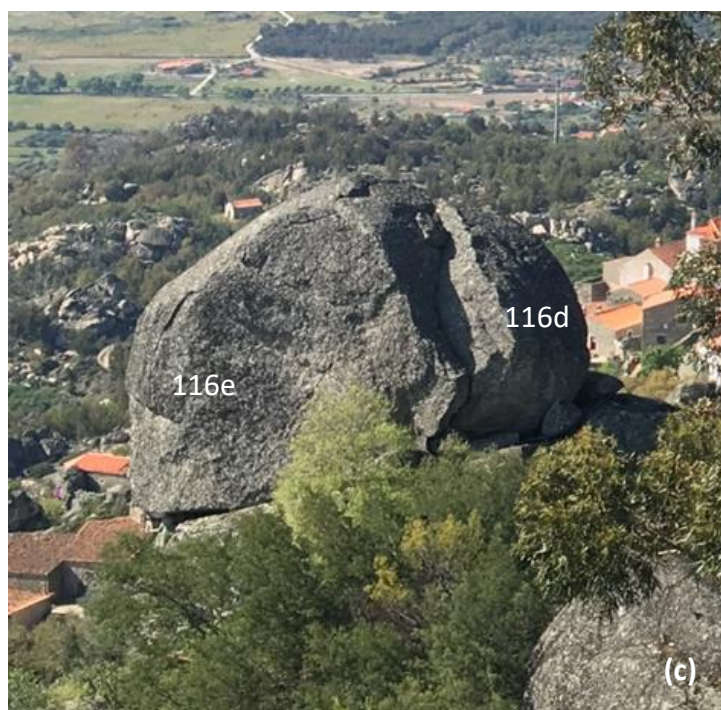
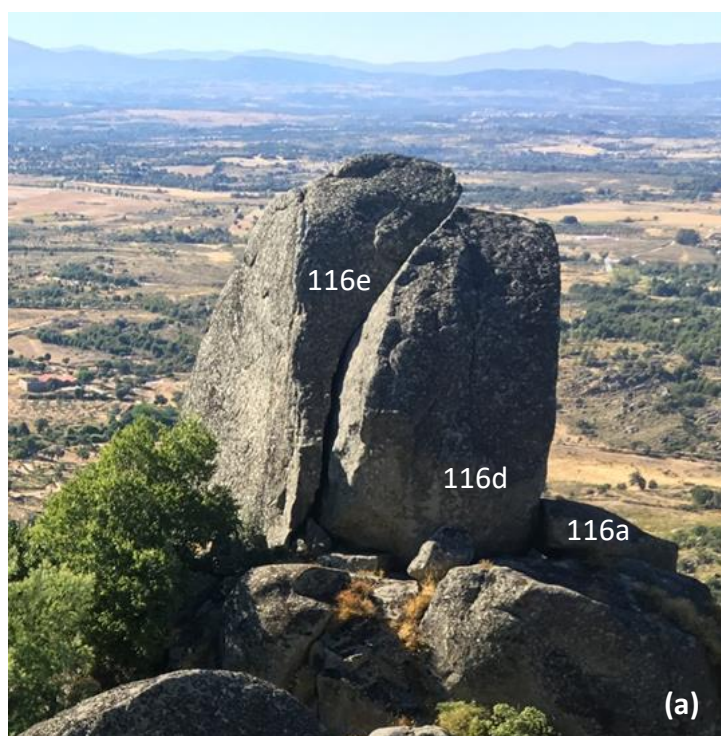


Figura 31 - "Penedo do Pé Calvo" blocos 116: (a) vista de trás S-N ; (b) vista de frente N-S ; (c) vista lateral W-E; (d) vista lateral E-W

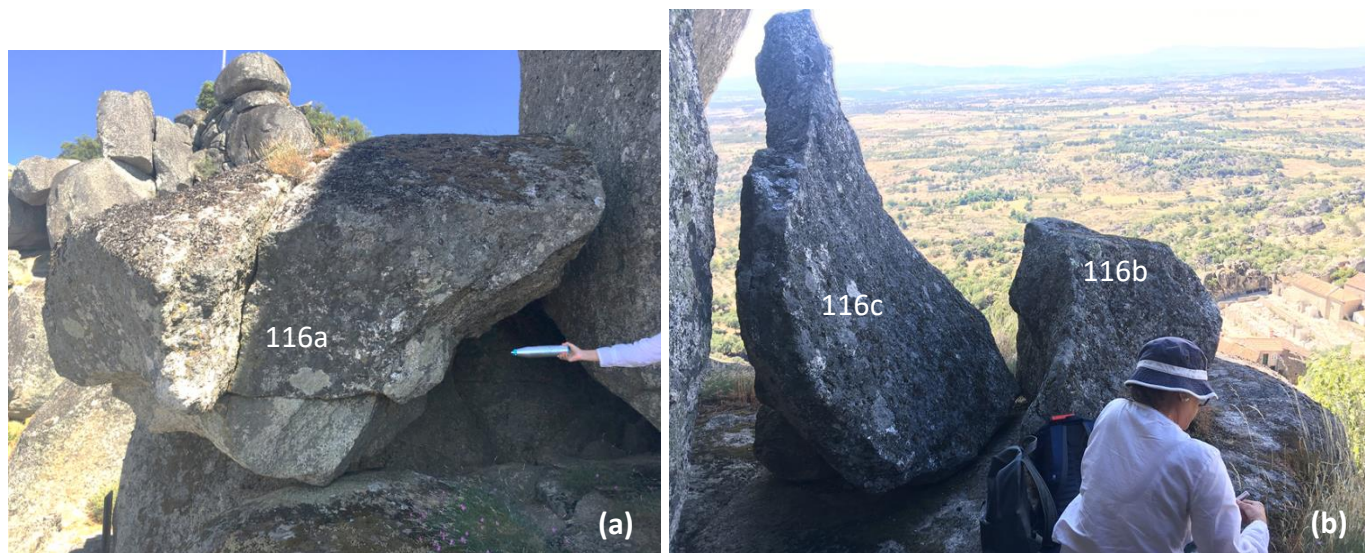


Figura 32 - (a) bloco 116a, vista de frente N-S; (b) blocos 116c e d, vista de trás S-N



Figura 33 - Blocos 116e e d, vista de trás S-N



Figura 34 - (a), (b) e (c), vista lateral E-W



Figura 35 - Bloco 120: (a) vista de frente ENE-WSW; (b) vista de trás WSW-ENE



Figura 36 - Bloco 120, vista lateral S-N



Figura 37 - Base bloco 120: (a) atrás; (b) à frente

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Bloco 66: (a) vista de frente E-W; (b) vista lateral N-S..... | 1 |
| Figura 2 - Base bloco 66 | 1 |
| Figura 3 - Bloco 67, vista de trás E-W..... | 2 |
| Figura 4 - Blocos 67 e 68, vista de trás E-W | 2 |
| Figura 5 - Blocos 67 e 68, vista de frente W-E | 3 |
| Figura 6 - Bloco 69: (a) vista lateral S-N; (b) vista frente E-W..... | 3 |
| Figura 7 - Base bloco 69 | 4 |
| Figura 8 - Bloco 70: (a) vista lateral W-E; (b) vista de trás S-N..... | 4 |
| Figura 9 - Bloco 71, vista de frente ESE-NWN..... | 5 |
| Figura 10 - Bloco 71, vista de trás WNW-ESE..... | 5 |
| Figura 11 - Base bloco 71 | 6 |
| Figura 12 - Bloco 72: (a) vista de frente ESE-NWN; (b) vista lateral SW-NE | 7 |
| Figura 13 - Blocos 73 e 74: (a) vista lateral WNW-ESSE; (b) vista lateral SE-NW..... | 8 |
| Figura 14 - Base bloco 72 | 8 |
| Figura 15 - Base blocos 73 e 74..... | 9 |
| Figura 16 - Blocos 72, 73, 74 e 75, vista de trás N-S | 9 |
| Figura 17 - Bloco 75, vista lateral W-E | 10 |
| Figura 18 - Blocos 76, 77, 78 e 79, vista de frente S-N..... | 10 |
| Figura 19 - Base bloco 76 | 11 |
| Figura 20 - Base bloco 78 | 11 |
| Figura 21 - Base bloco 79 | 12 |
| Figura 22 - Bloco 80, vista de frente E-W | 12 |
| Figura 23 - Base bloco 80, vista lateral N-S..... | 13 |
| Figura 24 - Bloco 81, vista lateral NW-SE | 13 |
| Figura 25 - Base bloco 81: (a) vista lateral NW-SE; (b) vista de frente NE-SW | 14 |
| Figura 26 - Bloco 82: (a) vista de frente W-E; (b) base do bloco..... | 14 |
| Figura 27 - Bloco 83, vista lateral W-E | 15 |
| Figura 28 - Base bloco 83 | 15 |
| Figura 29 - Bloco 84, vista de cima N-S..... | 15 |
| Figura 30 - Bloco 84, vista lateral NW-SE | 16 |
| Figura 31 - "Penedo do Pé Calvo" blocos 116: (a) vista de trás S-N ; (b) vista de frente N-S ; (c) vista lateral W-E; (d) vista lateral E-W | 17 |
| Figura 32 - (a) bloco 116a, vista de frente N-S; (b) blocos 116c e d, vista de trás S-N | 18 |
| Figura 33 - Blocos 116e e d, vista de trás S-N | 18 |
| Figura 34 - (a), (b) e (c), vista lateral E-W | 19 |
| Figura 35 - Bloco 120: (a) vista de frente ENE-WSW; (b) vista de trás WSW-ENE | 20 |
| Figura 36 - Bloco 120, vista lateral S-N | 21 |
| Figura 37 - Base bloco 120: (a) atrás; (b) à frente..... | 21 |

Blocos da Área 4

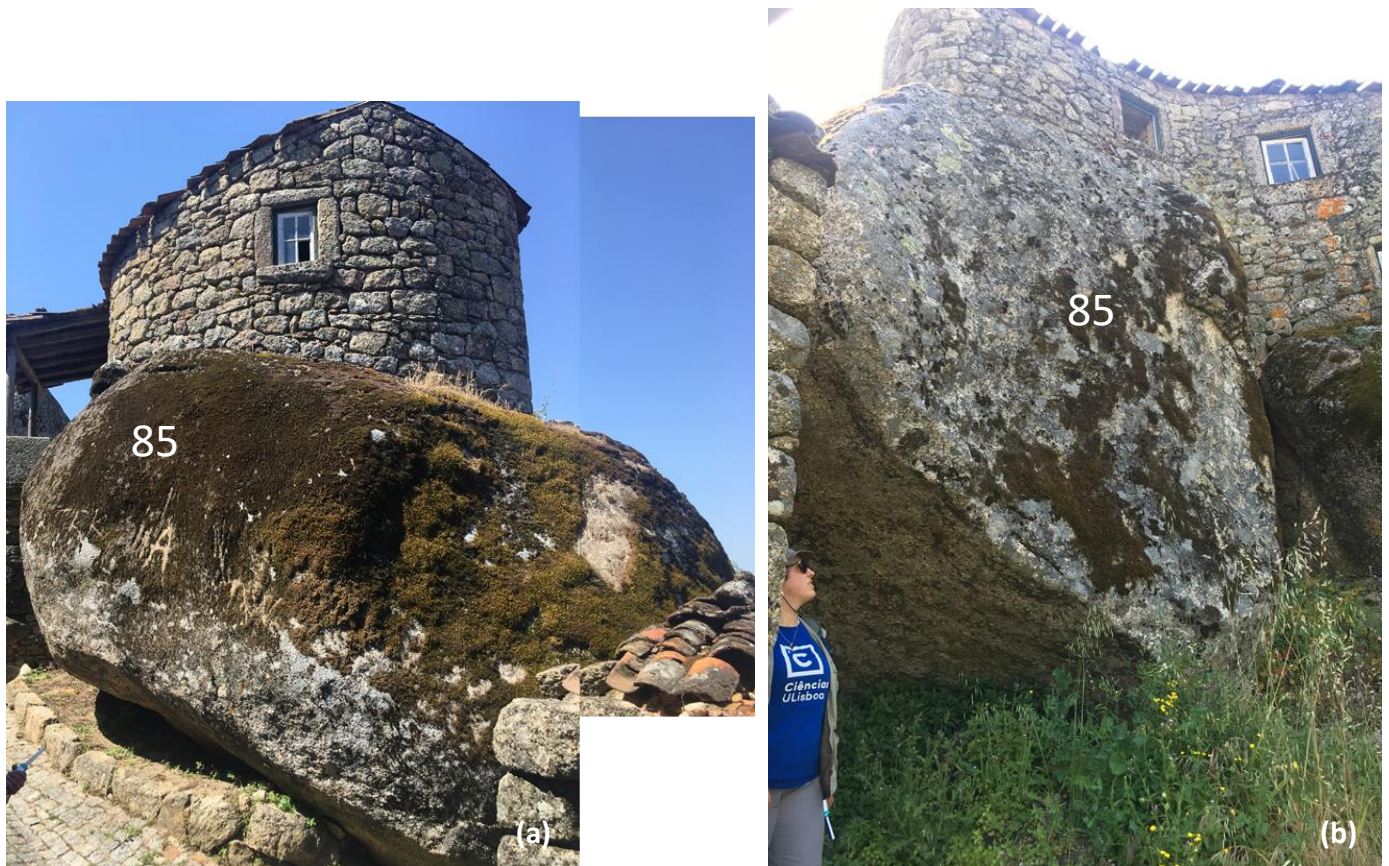


Figura 1 - Bloco 85: (a) vista de frente W-E; (b) vista lateral N-S



Figura 2 - Bloco 86: (a) vista de frente NE-SW; (b) base bloco



Figura 3 - Bloco 87: (a) vista lateral E-W; (b) vista de frente N-S



Figura 4 - Bloco 88: (a) vista de trás N-S; (b) base bloco



Figura 6 - Bloco 89, vista lateral W-E



Figura 5 - Bloco 90: (a) vista de frente E-W; (b) base do bloco



Figura 7 - Bloco 91, vista lateral W-E

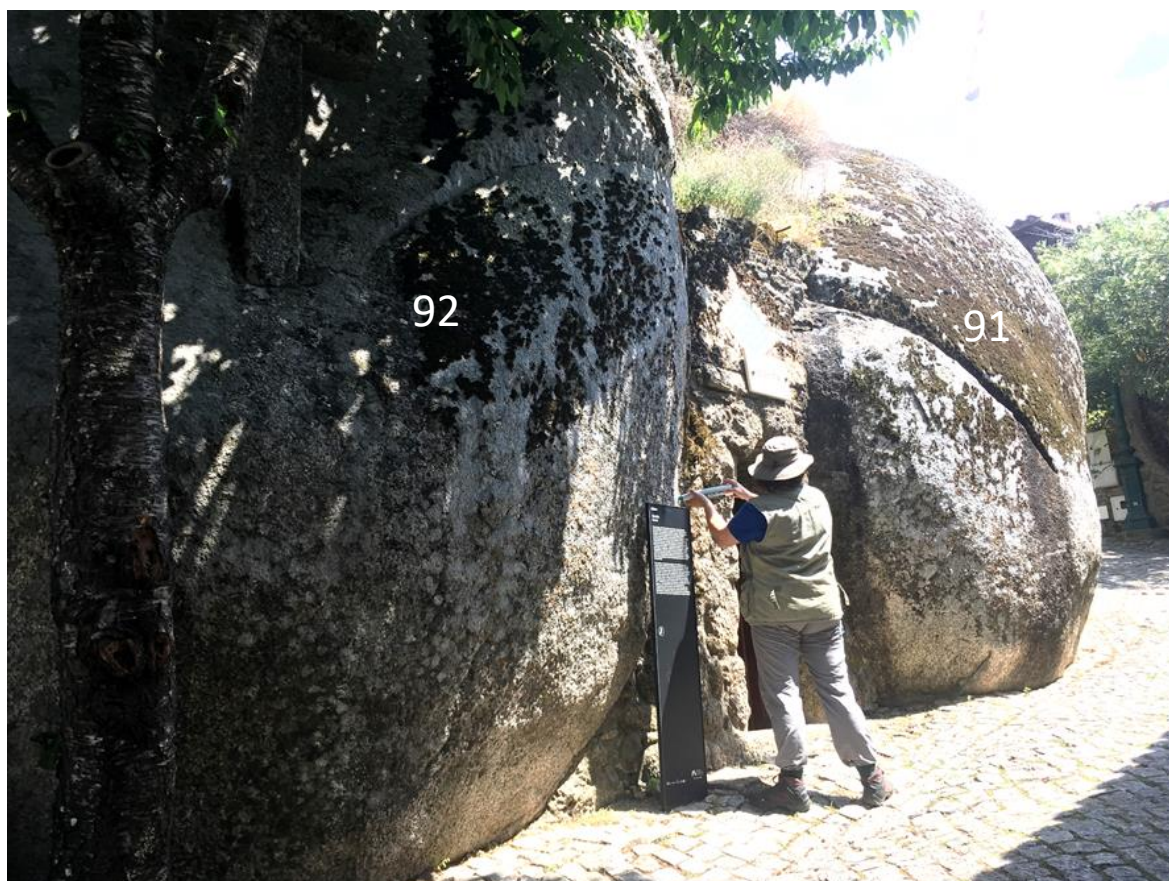


Figura 8 - "Gruta", blocos 91 e 92, vista de frente



Figura 9 - Blocos 93, 94 e 95, vista de frente NNE-SSW



Figura 10 - Base bloco 95



Figura 11 - Bloco 96, vista lateral W-E



Figura 12 - Base bloco 86, vista lateral E-W



Figura 13 - Bloco 97, vista lateral W-E



Figura 14 - Bloco 98: (a) vista de trás W-E; (b) vista de frente E-W



Figura 15 - Base bloco 98



Figura 16 - Bloco 99, vista lateral N-S



Figura 17 - Bloco 102, vista de frente E-W



Figura 18 - Bloco 103, vista lateral S-N



Figura 19 - Blocos 102, 104, 105 e 106, vista lateral S-N



Figura 20 - Bloco 104: (a) vista lateral S-N; (b) vista de frente E-W



Figura 21 - Base blocos 104 e 105



Figura 22 - Blocos 105 e 106, vista de frente E-W



Figura 23 - Base bloco 106



Figura 24 - Bloco 107, vista de frente E-W

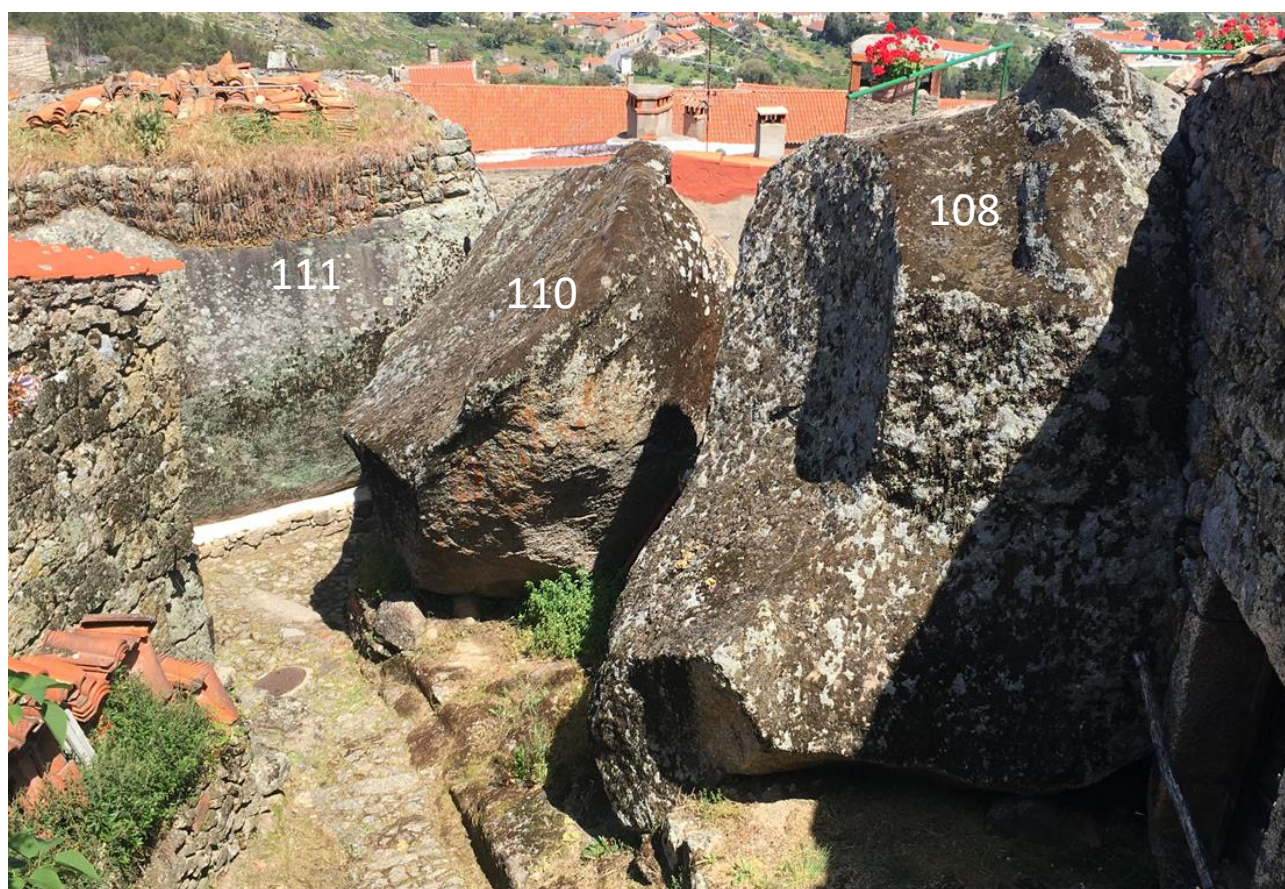


Figura 25 - Blocos 108, 109, 110 e 111, vista de trás W-E

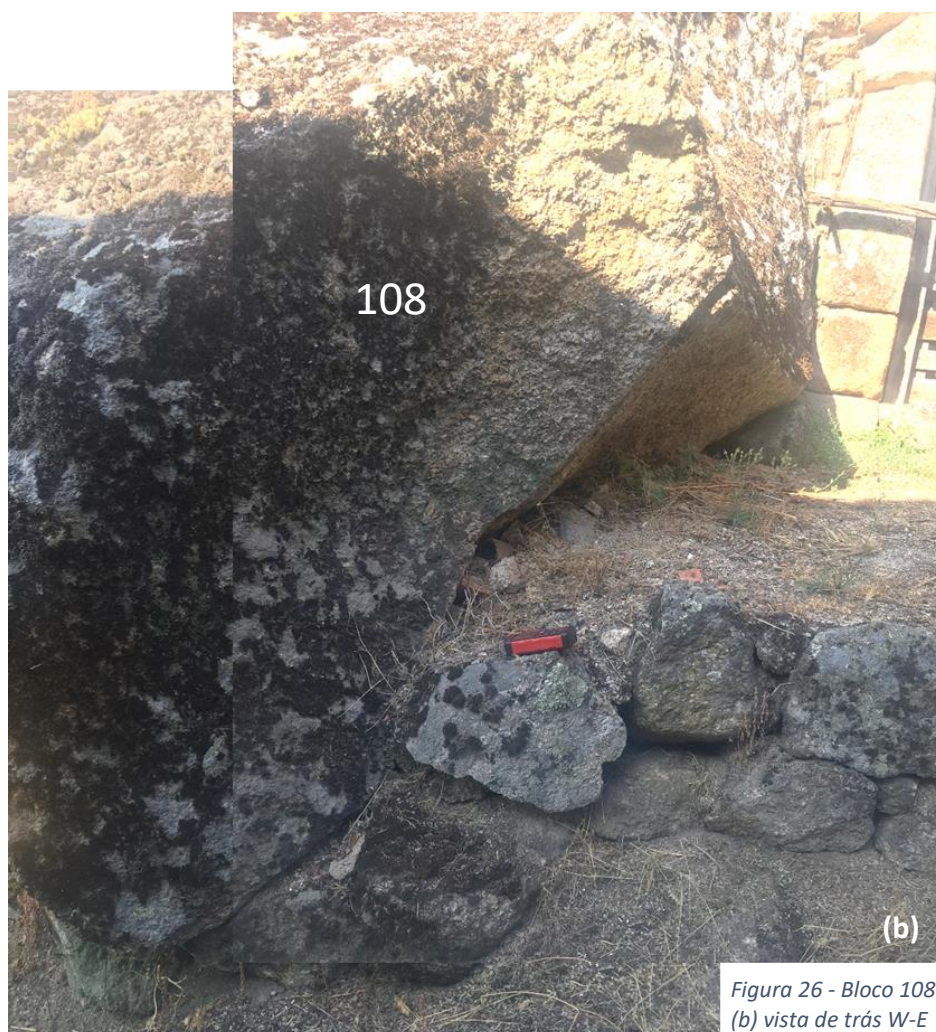


Figura 26 - Bloco 108: (a) vista de frente E-W;
(b) vista de trás W-E



Figura 27 - Base bloco 108



Figura 28 - Bloco 109: (a) vista lateral N-S; (b) base bloco



Figura 29 - Blocos 108, 110 e 111, vista lateral NW-SE



Figura 30 - Blocos 109 e 110, vista lateral N-S



Figura 32 - Base bloco 110



Figura 31 - Base bloco 111



Figura 33 - Bloco 111, vista lateral NW-SE

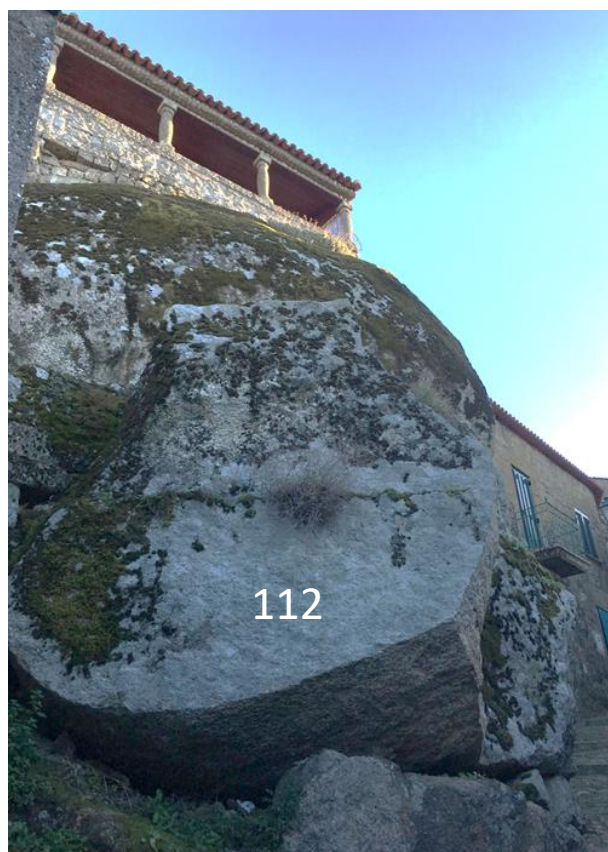


Figura 34 - Bloco 112, vista de frente E-W

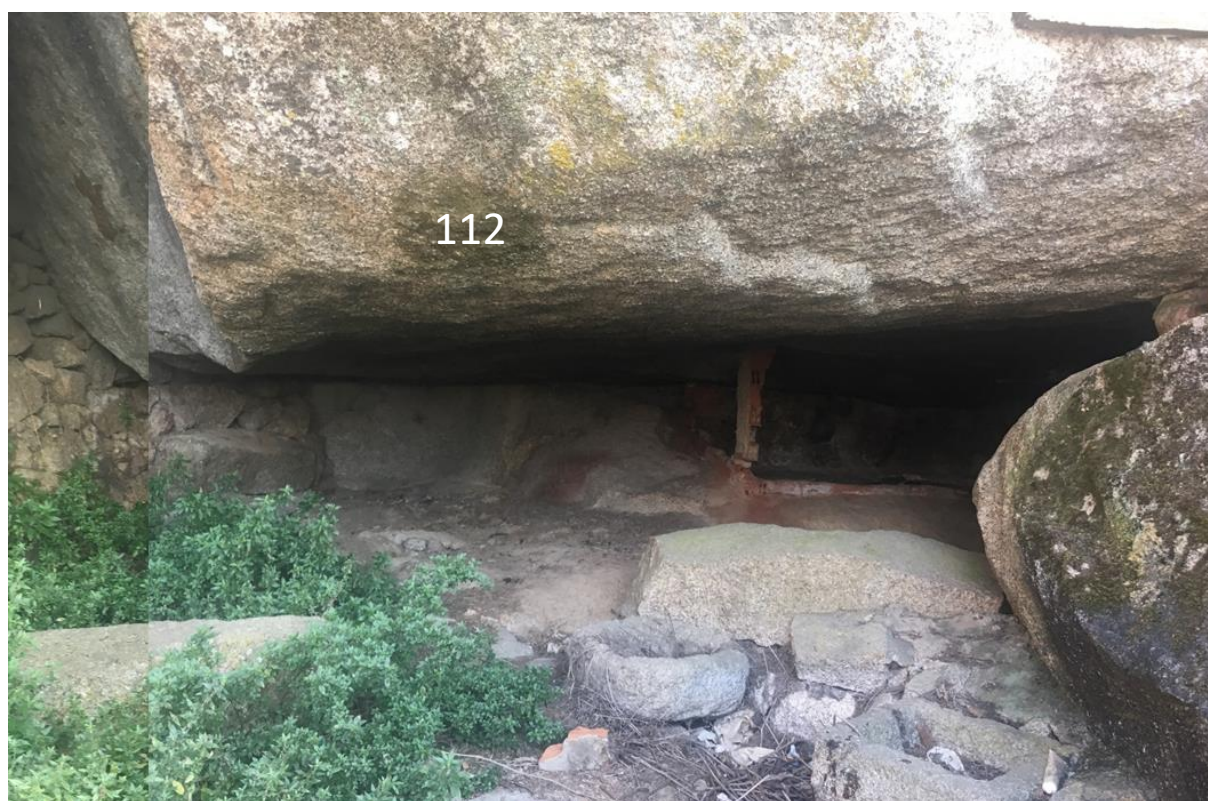


Figura 35 - Base bloco 112

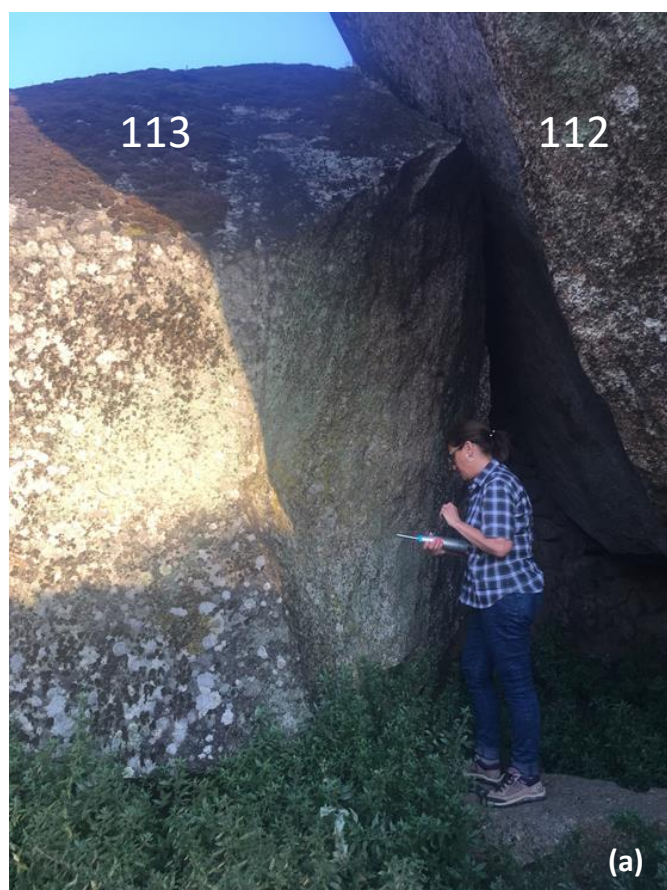


Figura 36 - (a) bloco 113; (b) bloco 114



Figura 37 - Base bloco 112



Figura 38 - Base bloco 112, vista de frente E-W



Figura 39 - Alteração no bloco 112



Figura 40 - Bloco 115, vista lateral N-S

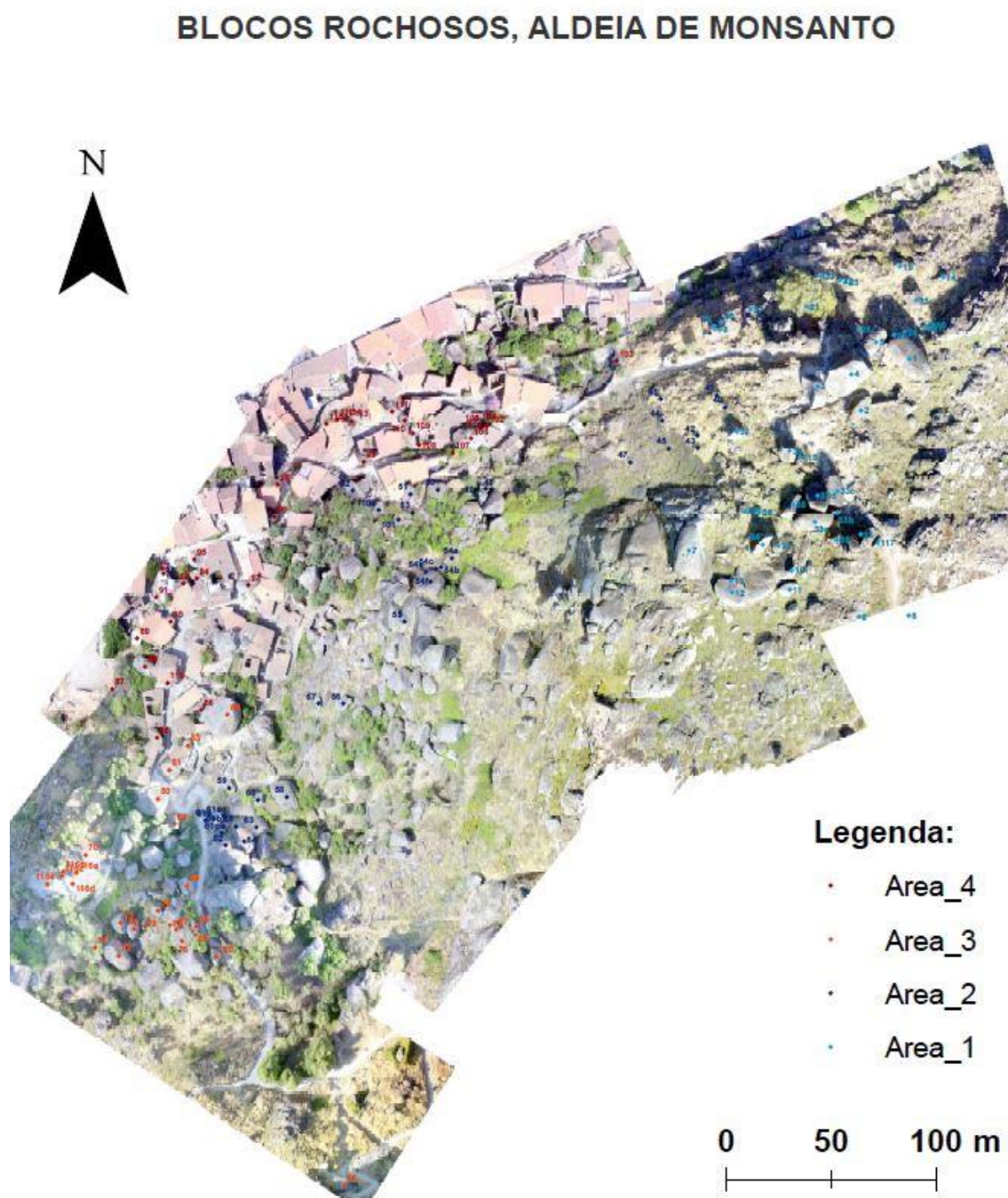


Figura 41 - Bloco 119, vista lateral WSW-ENE

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Bloco 85: (a) vista de frente W-E; (b) vista lateral N-S..... | 1 |
| Figura 2 - Bloco 86: (a) vista de frente NE-SW; (b) base bloco | 1 |
| Figura 3 - Bloco 87: (a) vista lateral E-W; (b) vista de frente N-S..... | 2 |
| Figura 4 - Bloco 88: (a) vista de trás N-S; (b) base bloco..... | 2 |
| Figura 5 - Bloco 90: (a) vista de frente E-W; (b) base do bloco..... | 3 |
| Figura 6 - Bloco 89, vista lateral W-E | 3 |
| Figura 7 - Bloco 91, vista lateral W-E | 4 |
| Figura 8 - "Gruta", blocos 91 e 92, vista de frente..... | 4 |
| Figura 9 - Blocos 93, 94 e 95, vista de frente NNE-SSW..... | 5 |
| Figura 10 - Base bloco 95 | 5 |
| Figura 11 - Bloco 96, vista lateral W-E | 6 |
| Figura 12 - Base bloco 86, vista lateral E-W..... | 6 |
| Figura 13 - Bloco 97, vista lateral W-E | 7 |
| Figura 14 - Bloco 98: (a) vista de trás W-E; (b) vista de frente E-W..... | 7 |
| Figura 15 - Base bloco 98 | 8 |
| Figura 16 - Bloco 99, vista lateral N-S | 8 |
| Figura 17 - Bloco 102, vista de frente E-W..... | 9 |
| Figura 18 - Bloco 103, vista lateral S-N | 9 |
| Figura 19 - Blocos 102, 104, 105 e 106, vista lateral S-N | 10 |
| Figura 20 - Bloco 104: (a) vista lateral S-N; (b) vista de frente E-W..... | 10 |
| Figura 21 - Base blocos 104 e 105..... | 11 |
| Figura 22 - Blocos 105 e 106, vista de frente E-W | 11 |
| Figura 23 - Base bloco 106 | 12 |
| Figura 24 - Bloco 107, vista de frente E-W..... | 12 |
| Figura 25 - Blocos 108, 109, 110 e 111, vista de trás W-E | 13 |
| Figura 26 - Bloco 108: (a) vista de frente E-W; (b) vista de trás W-E..... | 14 |
| Figura 27 - Base bloco 108 | 15 |
| Figura 28 - Bloco 109: (a) vista lateral N-S; (b) base bloco | 15 |
| Figura 29 - Blocos 108, 110 e 111, vista lateral NW-SE | 16 |
| Figura 30 - Blocos 109 e 110, vista lateral N-S..... | 16 |
| Figura 31 - Base bloco 111 | 17 |
| Figura 32 - Base bloco 110 | 17 |
| Figura 33 - Bloco 111, vista lateral NW-SE..... | 17 |
| Figura 34 - Bloco 112, vista de frente E-W..... | 18 |
| Figura 35 - Base bloco 112 | 18 |
| Figura 36 - (a) bloco 113; (b) bloco 114 | 19 |
| Figura 37 - Base bloco 112 | 19 |
| Figura 38 - Base bloco 112, vista de frente E-W | 20 |
| Figura 39 - Alteração no bloco 112 | 20 |
| Figura 40 - Bloco 115, vista lateral N-S | 21 |
| Figura 41 - Bloco 119, vista lateral WSW-ENE | 21 |

ANEXO 2 – Localização e Identificação dos Blocos Rochosos

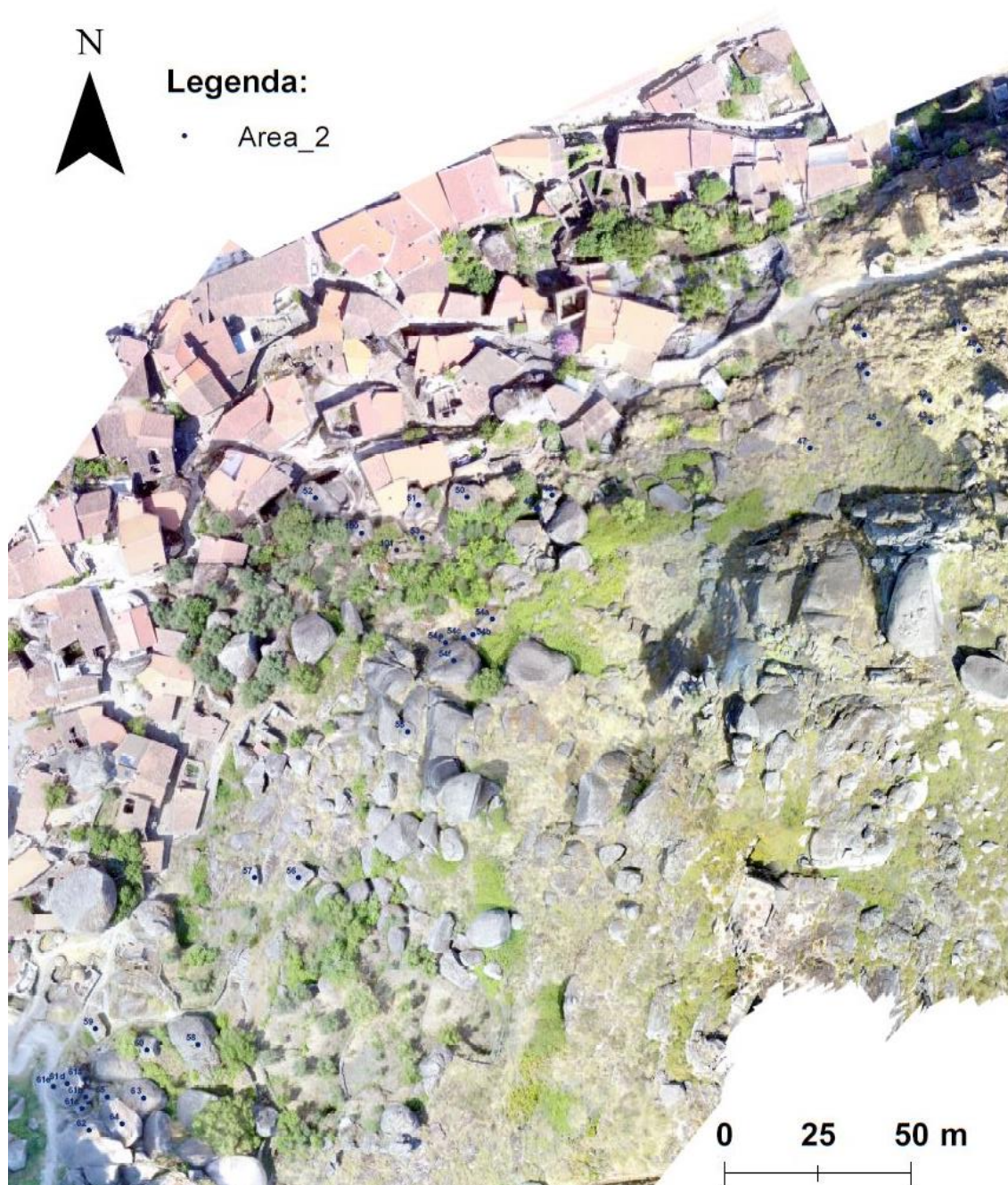


Anexo 2 a – Localização e Identificação dos Blocos Rochosos pelas quatro áreas

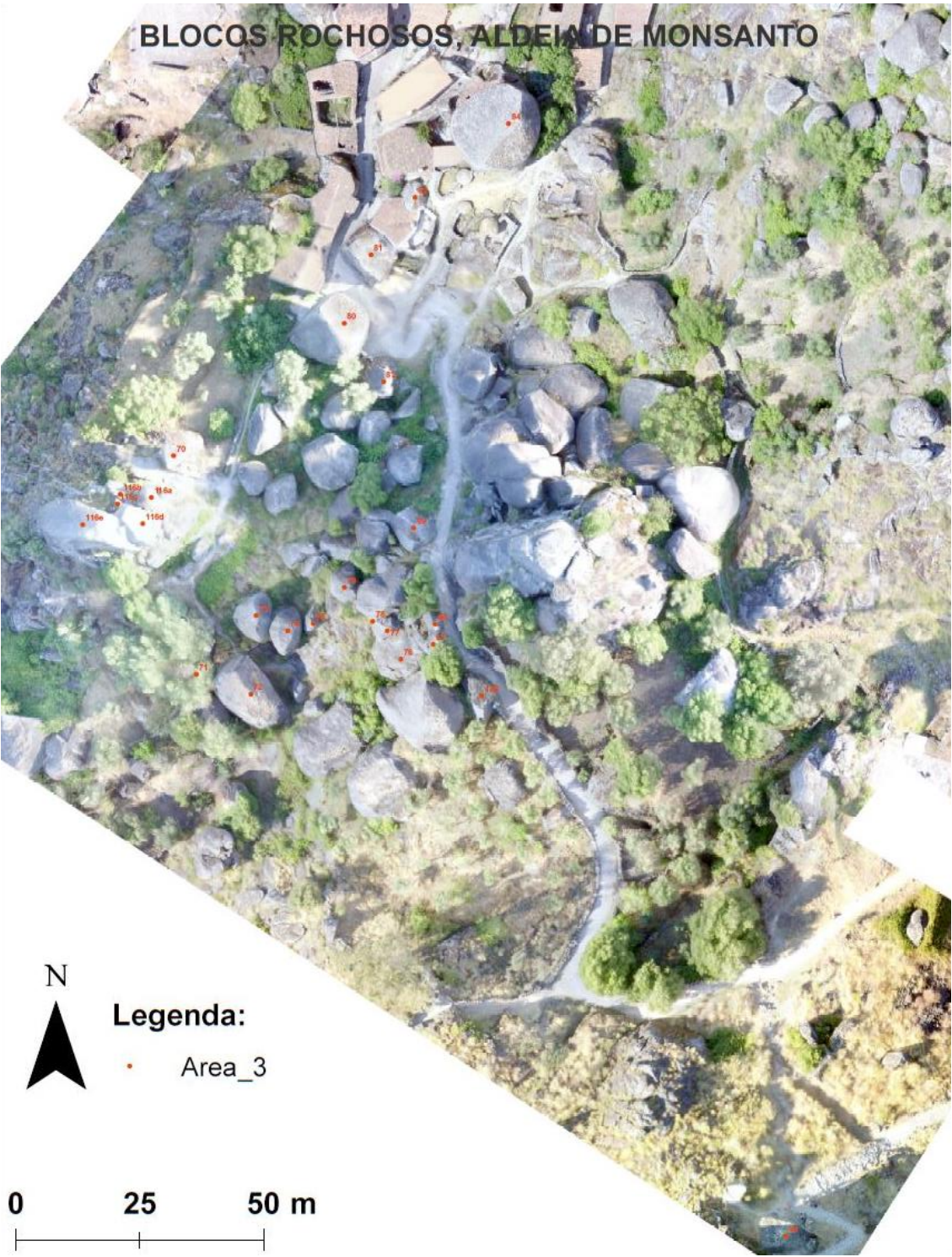


Anexo 2 b - Localização e Identificação dos Blocos Rochosos, Área 1

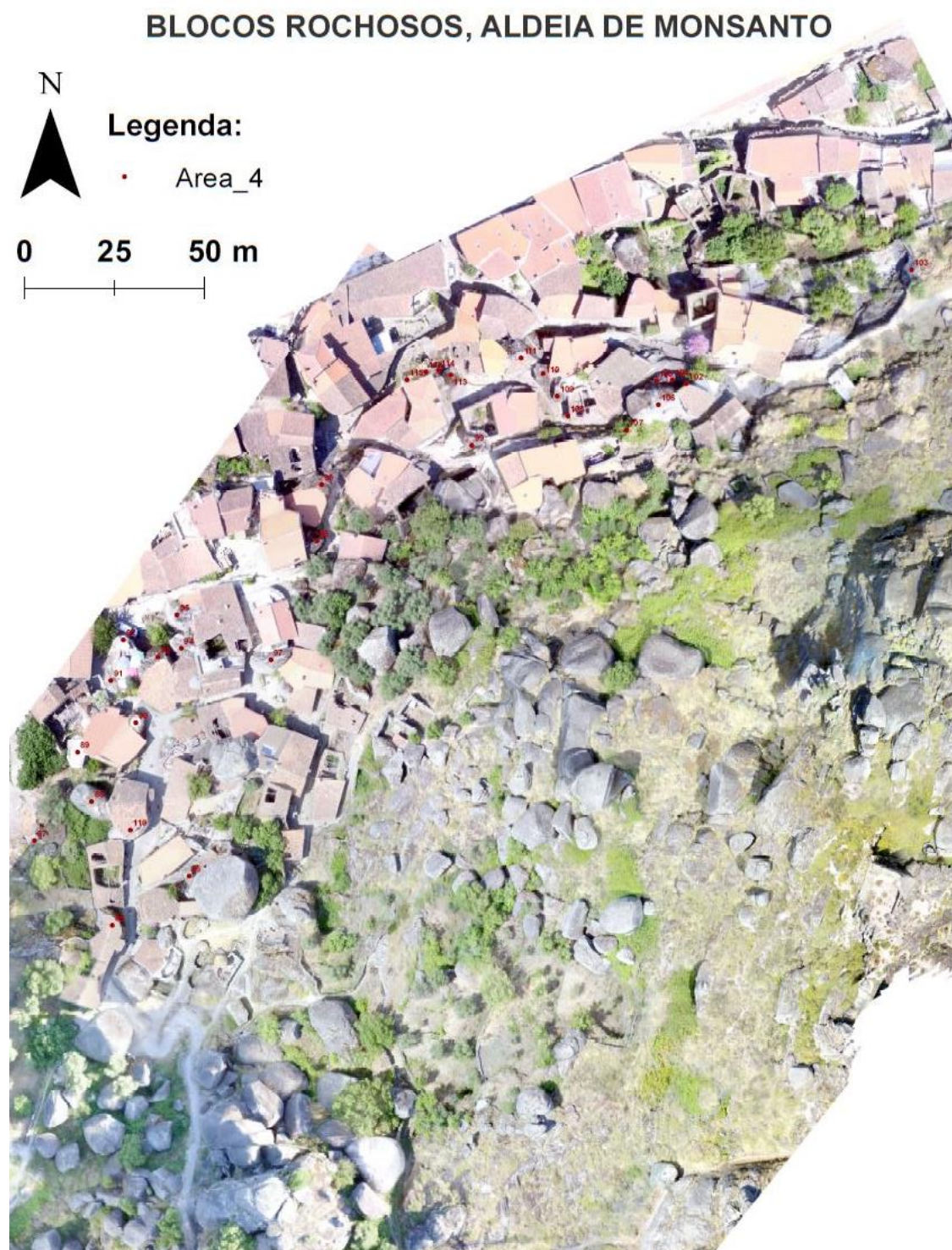
BLOCOS ROCHOSOS, ALDEIA DE MONSANTO



Anexo 2 c - Localização e Identificação dos Blocos Rochosos, Área 2

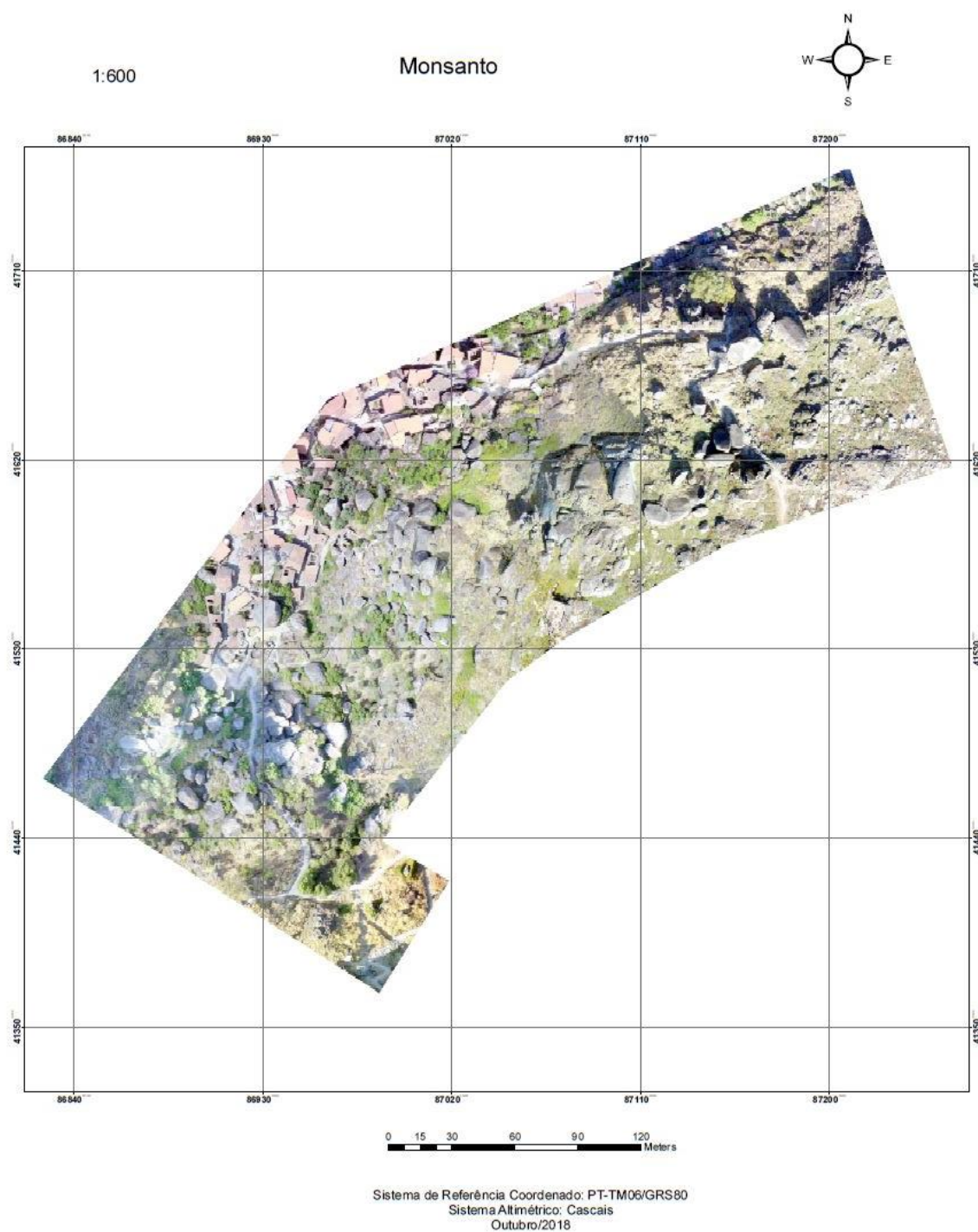


Anexo 2 d - Localização e Identificação dos Blocos Rochosos, Área 3



Anexo 2 e - Localização e Identificação dos Blocos Rochosos, Área 4

ANEXO 3 – Ortomosaico



Anexo 3 a - Ortomosaico obtido pelo Drone

ANEXO 4 – Discriminação dos Blocos Rochosos*Anexo 4 a - Tabela distância de Jaccard (Tombamento)*

| Nº BLOCO | ANÁLISE ESTÁTICA INICIAÇÃO TOMBAMENTO | | | | | | | | | | | | |
|----------|--|------|------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| | dimx | dimy | dimz | dimensão estática | peso dimensão estática | centro de massa | inclinação da base | peso inclinação da base | efeito da carga | Jaccard dist A1 | Jaccard dist A2 | Jaccard dist A3 | valor arquétipo final |
| 1 | 9,5 | 15 | 7 | 0,47 | 1 | 1 | 42 | 3 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 2 | 4 | 12 | 5 | 0,42 | 1 | 1 | 35 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 3 | 4 | 11 | 10 | 0,91 | 1 | 1 | 38 | 3 | 3 | 0,50 | 0,40 | 0,33 | 3 |
| 4 | 9 | 14 | 12 | 0,86 | 1 | 1 | 15 | 2 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 5 | 7 | 11 | 6,5 | 0,59 | 1 | 1 | 20 | 2 | 3 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 6 | 3 | 5 | 6 | 1,20 | 2 | 2 | 30 | 3 | 1 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 7 | 6 | 15 | 10 | 0,67 | 1 | 1 | 6 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 8 | 4 | 5,5 | 2,6 | 0,47 | 1 | 1 | 15 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 9 | 3 | 4 | 1,8 | 0,45 | 1 | 1 | 26 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 10 | 2 | 3 | 1,5 | 0,50 | 1 | 1 | 15 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 11 | 3,5 | 6 | 4 | 0,67 | 1 | 1 | 40 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 12 | 5 | 7 | 7 | 1,00 | 1 | 2 | 10 | 1 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 3 |
| 13 | 3,5 | 2 | 2 | 1,00 | 1 | 1 | 40 | 3 | 3 | 0,50 | 0,40 | 0,33 | 3 |
| 14 | 3 | 2,1 | 2,5 | 1,19 | 2 | 2 | 11 | 1 | 1 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 15 | 6 | 5,5 | 5,1 | 0,93 | 1 | 2 | 40 | 3 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 16 | 2 | 3 | 2 | 0,67 | 1 | 1 | 18 | 2 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 17 | 1 | 1 | 2 | 2,00 | 3 | 1 | 15 | 2 | 1 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 18 | 1,5 | 2 | 1,3 | 0,65 | 1 | 1 | 35 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 19 | 3 | 2 | 1,5 | 0,75 | 1 | 2 | 40 | 3 | 1 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 20 | 3,5 | 2 | 1,8 | 0,90 | 1 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 21 | 4,6 | 2 | 1,3 | 0,65 | 1 | 1 | 10 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 22 | 3 | 2 | 3,5 | 1,75 | 2 | 2 | 30 | 3 | 1 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 3 |
| 23 | 2 | 4 | 1,5 | 0,38 | 1 | 1 | 30 | 3 | 3 | 0,50 | 0,40 | 0,33 | 3 |
| 24 | 3 | 4 | 3 | 0,75 | 1 | 2 | 30 | 3 | 3 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 25 | 4,5 | 4,3 | 4 | 0,93 | 1 | 1 | 15 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 26 | 8 | 6,5 | 3 | 0,46 | 1 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 27 | 4 | 4 | 2 | 0,50 | 1 | 1 | 16 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 28 | 2 | 2 | 1,5 | 0,75 | 1 | 1 | 15 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 29 | 3 | 1,5 | 1,8 | 1,20 | 2 | 1 | 15 | 2 | 3 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 30 | 2,5 | 5 | 3 | 0,60 | 1 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 31 | 5 | 8,1 | 3,7 | 0,46 | 1 | 1 | 45 | 3 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 32 | 4 | 4 | 4 | 1,00 | 1 | 2 | 45 | 3 | 1 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |

| ANÁLISE ESTÁTICA INICIAÇÃO TOMBAMENTO | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Nº BLOCO | dimx | dimy | dimz | dimensão estática | peso dimensão estática | centro de massa | inclinação da base | peso inclinação da base | efeito da carga | Jaccard dist A1 | Jaccard dist A2 | Jaccard dist A3 | valor arquetipo final |
| 33a | 8 | 4 | 6 | 1,50 | 2 | 2 | 40 | 3 | 1 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 3 |
| 33b | 4 | 2 | 6 | 3,00 | 3 | 1 | 15 | 2 | 3 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 33c | 11,5 | 5 | 10 | 2,00 | 3 | 1 | 15 | 2 | 3 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 33d | 6 | 11,5 | 12 | 1,04 | 2 | 1 | 30 | 3 | 1 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 3 |
| 34 | 12 | 6 | 8 | 1,33 | 2 | 1 | 45 | 3 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 35 | 5 | 8 | 5 | 0,63 | 1 | 1 | 45 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 36 | 4 | 4 | 4 | 1,00 | 1 | 1 | 10 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 37 | 4 | 5 | 6 | 1,20 | 2 | 1 | 25 | 2 | 1 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 38 | 4,9 | 8 | 8 | 1,00 | 1 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 39 | 5 | 6 | 6 | 1,00 | 1 | 1 | 35 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 40 | 2 | 3 | 1 | 0,33 | 1 | 1 | 25 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 41 | 3 | 2 | 2 | 1,00 | 1 | 2 | 15 | 2 | 1 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 42 | 4,5 | 5 | 1,7 | 0,34 | 1 | 1 | 20 | 2 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 43 | 3 | 2 | 1,5 | 0,75 | 1 | 2 | 38 | 3 | 1 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 44 | 2 | 3 | 1,5 | 0,50 | 1 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 45 | 3,5 | 2 | 1 | 0,50 | 1 | 1 | 25 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 46 | 2 | 3 | 1,5 | 0,50 | 1 | 1 | 40 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 47 | 2 | 3 | 2,5 | 0,83 | 1 | 1 | 40 | 3 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 48 | 4 | 3,5 | 3 | 0,86 | 1 | 1 | 30 | 3 | 3 | 0,50 | 0,40 | 0,33 | 3 |
| 49 | 2,5 | 3 | 3,5 | 1,17 | 2 | 2 | 30 | 3 | 3 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 50 | 7,5 | 6,5 | 6 | 0,92 | 1 | 1 | 60 | 3 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 51 | 7 | 6 | 4 | 0,67 | 1 | 1 | 10 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 52 | 5 | 8,5 | 9 | 1,06 | 2 | 1 | 10 | 1 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 53 | 2 | 5 | 3 | 0,60 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 54b | 2,5 | 4 | 4,5 | 1,13 | 2 | 1 | 45 | 3 | 1 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 3 |
| 54c | 2 | 2,5 | 2,5 | 1,00 | 1 | 1 | 35 | 3 | 3 | 0,50 | 0,40 | 0,33 | 3 |
| 54f | 10 | 11 | 4 | 0,36 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 3 |
| 54e | 3 | 2,5 | 6 | 2,40 | 3 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0,50 | 0,40 | 0,33 | 3 |
| 55 | 4 | 6 | 4 | 0,67 | 1 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 56 | 4 | 6 | 3 | 0,50 | 1 | 1 | 8 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 57 | 1,2 | 3,5 | 2 | 0,57 | 1 | 1 | 6 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 58 | 6 | 15 | 8 | 0,53 | 1 | 1 | 40 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 59 | 3,5 | 4,5 | 4 | 0,89 | 1 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 60 | 4 | 4,5 | 4,2 | 0,93 | 1 | 1 | 16 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 61a | 1,5 | 4 | 2 | 0,50 | 1 | 1 | 20 | 2 | 3 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 61b | 4 | 2 | 2,8 | 1,40 | 2 | 1 | 22 | 2 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |

| Nº BLOCO | ANÁLISE ESTÁTICA INICIAÇÃO TOMBAMENTO | | | | | | | | | | | | |
|----------|--|------|------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| | dimx | dimy | dimz | dimensão estática | peso dimensão estática | centro de massa | inclinação da base | peso inclinação da base | efeito da carga | Jaccard dist A1 | Jaccard dist A2 | Jaccard dist A3 | valor arquetipo final |
| 61c | 4 | 4 | 4 | 1,00 | 1 | 3 | 20 | 2 | 1 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 61d | 5 | 6,5 | 6 | 0,92 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 2 |
| 61e | 1 | 3 | 1,9 | 0,63 | 1 | 2 | 0 | 1 | 3 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 62 | 7 | 9,5 | 12 | 1,26 | 2 | 1 | 25 | 2 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 63 | 5 | 8,5 | 8 | 0,94 | 1 | 1 | 8 | 1 | 2 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 64 | 5 | 10 | 5 | 0,50 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 2 |
| 65 | 6 | 3,5 | 1,3 | 0,37 | 1 | 1 | 40 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 66 | 8 | 5 | 6,5 | 1,30 | 2 | 1 | 30 | 3 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 67 | 5 | 4 | 3 | 0,75 | 1 | 2 | 25 | 2 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 68 | 3 | 3,5 | 6 | 1,71 | 2 | 1 | 30 | 3 | 3 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 69 | 6 | 8 | 6 | 0,75 | 1 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 70 | 5 | 3 | 2 | 0,67 | 1 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 71 | 10 | 6 | 5 | 0,83 | 1 | 1 | 32 | 3 | 3 | 0,50 | 0,40 | 0,33 | 3 |
| 72 | 10 | 6 | 6 | 1,00 | 1 | 2 | 20 | 2 | 1 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 3 |
| 73 | 7 | 6 | 6 | 1,00 | 1 | 1 | 33 | 3 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 74 | 6 | 4,5 | 4 | 0,89 | 1 | 2 | 33 | 3 | 1 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 75 | 4 | 3 | 2 | 0,67 | 1 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 76 | 9 | 11 | 5 | 0,45 | 1 | 1 | 15 | 2 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 77 | 3 | 4 | 3 | 0,75 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 78 | 4 | 5 | 2,5 | 0,50 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 79 | 6,3 | 4 | 3 | 0,75 | 1 | 1 | 30 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 80 | 10 | 10 | 9 | 0,90 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 81 | 6 | 7,5 | 5 | 0,67 | 1 | 1 | 30 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 82 | 6 | 7,5 | 5 | 0,67 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 83 | 3,5 | 3,5 | 2,5 | 0,71 | 1 | 1 | 10 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 84 | 8 | 10 | 5 | 0,50 | 1 | 2 | 45 | 3 | 1 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 85 | 7 | 8 | 4 | 0,50 | 1 | 2 | 45 | 3 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 86 | 2,5 | 3 | 6 | 2,00 | 3 | 1 | 38 | 3 | 1 | 0,50 | 0,40 | 0,33 | 3 |
| 87 | 2 | 2,5 | 2 | 0,80 | 1 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 88 | 5,5 | 10 | 8 | 0,80 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 89 | 4,5 | 5 | 4 | 0,80 | 1 | 3 | 45 | 3 | 1 | 0,50 | 0,40 | 0,33 | 3 |
| 90 | 3 | 5,5 | 4 | 0,73 | 1 | 2 | 18 | 2 | 1 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 91 | 4 | 8,5 | 5 | 0,59 | 1 | 1 | 30 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 2 |
| 92 | 4 | 8 | 5 | 0,63 | 1 | 1 | 40 | 3 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 93 | 4 | 5 | 6 | 1,20 | 2 | 1 | 26 | 2 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 94 | 2,5 | 5 | 4 | 0,80 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |

| ANÁLISE ESTATICA INICIAÇÃO TOMBAMENTO | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|-------------------|------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Nº BLOCO | dimx | dimy | dimz | dimensão estática | peso dimensão estática | centro de massa | inclinação da base | peso inclinação da base | efeito da carga | Jaccard dist A1 | Jaccard dist A2 | Jaccard dist A3 | valor arquetipo final |
| 95 | 5 | 5 | 5 | 1,00 | 1 | 1 | 30 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 96 | 3,5 | 6,5 | 5 | 0,77 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 97 | 4 | 4,5 | 7 | 1,56 | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 98 | 10 | 4 | 5 | 1,25 | 2 | 3 | 22 | 2 | 1 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 99 | 3 | 3 | 4 | 1,33 | 2 | 2 | 25 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 |
| 100 | 4 | 5,7 | 3 | 0,53 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 101 | 4 | 10 | 4 | 0,40 | 1 | 1 | 40 | 3 | 1 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 102 | 4 | 4 | 4 | 1,00 | 1 | 1 | 10 | 1 | 3 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 103 | 2,5 | 5 | 2,5 | 0,50 | 1 | 2 | 50 | 3 | 1 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 104 | 2 | 5 | 5 | 1,00 | 1 | 1 | 42 | 3 | 3 | 0,50 | 0,40 | 0,33 | 3 |
| 105 | 5,7 | 4 | 3 | 0,75 | 1 | 2 | 40 | 3 | 3 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 106 | 6 | 13 | 6 | 0,46 | 1 | 1 | 17 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 108 | 4 | 4,5 | 6 | 1,33 | 2 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 109 | 4 | 3 | 2 | 0,67 | 1 | 1 | 10 | 1 | 3 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 1 |
| 110 | 4 | 4,9 | 5 | 1,02 | 2 | 1 | 30 | 3 | 3 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 111 | 7,1 | 6,35 | 5 | 0,79 | 1 | 1 | 8 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 112 | 7 | 7,5 | 5 | 0,67 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | 0,33 | 0,44 | 0,50 | 3 |
| 113 | 3,5 | 4 | 3,7 | 0,93 | 1 | 1 | 30 | 3 | 3 | 0,50 | 0,40 | 0,33 | 3 |
| 114 | 6,5 | 3,5 | 4 | 1,14 | 2 | 1 | 33 | 3 | 3 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 115 | 2 | 3 | 2,5 | 0,83 | 1 | 1 | 19 | 2 | 3 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 116a | 5,5 | 4 | 2,5 | 0,63 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 116b | 0,8 | 2,5 | 1 | 0,40 | 1 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 116c | 0,5 | 2 | 2 | 1,00 | 1 | 1 | 20 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 116d | 5,5 | 7 | 10 | 1,43 | 2 | 1 | 19 | 2 | 1 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 116e | 6 | 15 | 12 | 0,80 | 1 | 1 | 19 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 117 | 1 | 3,5 | 1,8 | 0,51 | 1 | 1 | 15 | 2 | 1 | 0,20 | 0,38 | 0,58 | 1 |
| 118 | 4 | 3,5 | 4 | 1,14 | 2 | 1 | 35 | 3 | 3 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 119 | 6 | 3 | 2 | 0,67 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 120 | 6 | 10 | 6 | 0,60 | 1 | 1 | 6 | 1 | 1 | 0,00 | 0,50 | 0,67 | 1 |
| 133 | TOTAL | | | | | | | | | | | | |

Anexo 4 b - Tabela distância de Jaccard (Deslizamento)

| Nº BLOCO | ANÁLISE ESTÁTICA INICIAÇÃO DESLIZAMENTO | | | | | | | | | |
|----------|--|----------------------------|-------------------|------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------|-----------------------|
| | inclinação | peso da inclinação da base | alteração da base | rugosidade | área de contacto | Jaccard dist A1 | Jaccard dist A2 | Jaccard dist A3 | v arquétipo da resistência | valor arquétipo final |
| 1 | 42 | 3 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 2 | 35 | 3 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 3 | 38 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 3 |
| 4 | 15 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0,40 | 0,17 | 0,44 | 2 | 1 |
| 5 | 20 | 2 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 2 |
| 6 | 30 | 3 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 3 |
| 7 | 6 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 1 |
| 8 | 15 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0,40 | 0,17 | 0,44 | 2 | 1 |
| 9 | 26 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0,40 | 0,17 | 0,44 | 2 | 2 |
| 10 | 15 | 1 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 2 |
| 11 | 40 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 12 | 10 | 1 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 13 | 40 | 3 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 14 | 11 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 1 |
| 15 | 40 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 3 |
| 16 | 18 | 1 | 3 | 3 | 1 | 0,57 | 0,38 | 0,22 | 3 | 2 |
| 17 | 15 | 1 | 3 | 3 | 1 | 0,57 | 0,38 | 0,22 | 3 | 2 |
| 18 | 35 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 19 | 40 | 3 | 2 | 2 | 3 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 3 |
| 20 | 20 | 2 | 2 | 2 | 3 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 2 |
| 21 | 10 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 1 |
| 22 | 30 | 3 | 2 | 2 | 3 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 3 |
| 23 | 30 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 3 |
| 24 | 30 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0,50 | 0,29 | 0,33 | 2 | 3 |
| 25 | 15 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 1 |
| 26 | 20 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 3 |
| 27 | 16 | 1 | 2 | 2 | 3 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 1 |
| 28 | 15 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 1 |
| 29 | 15 | 1 | 2 | 2 | 1 | 0,40 | 0,17 | 0,44 | 2 | 1 |
| 30 | 20 | 2 | 2 | 2 | 3 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 2 |
| 31 | 45 | 3 | 2 | 2 | 1 | 0,40 | 0,17 | 0,44 | 2 | 3 |
| 32 | 45 | 3 | 2 | 2 | 3 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 3 |
| 33a | 40 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 33b | 15 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 2 |
| 33c | 15 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 2 |

| Nº BLOCO | ANÁLISE ESTÁTICA INICIAÇÃO DESLIZAMENTO | | | | | | | | | |
|----------|--|----------------------------|-------------------|------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------|-----------------------|
| | inclinação | peso da inclinação da base | alteração da base | rugosidade | área de contacto | Jaccard dist A1 | Jaccard dist A2 | Jaccard dist A3 | v arquétipo da resistência | valor arquétipo final |
| 33d | 30 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 34 | 45 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0,50 | 0,29 | 0,33 | 2 | 3 |
| 35 | 45 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 36 | 10 | 1 | 3 | 2 | 1 | 0,50 | 0,29 | 0,33 | 2 | 1 |
| 37 | 25 | 2 | 3 | 3 | 1 | 0,57 | 0,38 | 0,22 | 3 | 3 |
| 38 | 20 | 2 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 39 | 35 | 3 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 3 |
| 40 | 25 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 2 |
| 41 | 15 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 1 |
| 42 | 20 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 2 |
| 43 | 38 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 3 |
| 44 | 20 | 2 | 2 | 2 | 3 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 2 |
| 45 | 25 | 2 | 3 | 3 | 1 | 0,57 | 0,38 | 0,22 | 3 | 3 |
| 46 | 40 | 3 | 2 | 2 | 3 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 3 |
| 47 | 40 | 3 | 2 | 3 | 1 | 0,50 | 0,29 | 0,33 | 2 | 3 |
| 48 | 30 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 3 |
| 49 | 30 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 3 |
| 50 | 60 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 3 |
| 51 | 10 | 1 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 1 |
| 52 | 10 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 1 |
| 53 | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 1 |
| 54b | 45 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 3 |
| 54c | 35 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 3 |
| 54f | 0 | 1 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 54e | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 1 |
| 55 | 20 | 2 | 2 | 2 | 1 | 0,40 | 0,17 | 0,44 | 2 | 2 |
| 56 | 8 | 1 | 3 | 3 | 2 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 1 |
| 57 | 6 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 1 |
| 58 | 40 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 59 | 20 | 2 | 3 | 3 | 1 | 0,57 | 0,38 | 0,22 | 3 | 3 |
| 60 | 16 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 2 |
| 61a | 20 | 2 | 1 | 2 | 3 | 0,50 | 0,29 | 0,33 | 2 | 2 |
| 61b | 22 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 2 |
| 61c | 20 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 3 |
| 61d | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 2 |
| 61e | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 1 |

| Nº BLOCO | ANÁLISE ESTÁTICA INICIAÇÃO DESLIZAMENTO | | | | | | | | | |
|----------|--|----------------------------|-------------------|------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------------|-----------------------|
| | inclinação | peso da inclinação da base | alteração da base | rugosidade | área de contacto | Jaccard dist A1 | Jaccard dist A2 | Jaccard dist A3 | v arquétipo da resistência | valor arquétipo final |
| 62 | 25 | 2 | 3 | 3 | 2 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 63 | 8 | 1 | 3 | 3 | 2 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 1 |
| 64 | 0 | 1 | 2 | 2 | 3 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 3 |
| 65 | 40 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 66 | 30 | 3 | 3 | 3 | 2 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 67 | 25 | 2 | 1 | 2 | 3 | 0,50 | 0,29 | 0,33 | 2 | 2 |
| 68 | 30 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 3 |
| 69 | 20 | 2 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 3 |
| 70 | 20 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 2 |
| 71 | 32 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 3 |
| 72 | 20 | 2 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 73 | 33 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 3 |
| 74 | 33 | 3 | 2 | 2 | 3 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 3 |
| 75 | 20 | 2 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 76 | 15 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 2 |
| 77 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 | 1 |
| 78 | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 1 |
| 79 | 30 | 3 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 80 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0,40 | 0,17 | 0,44 | 2 | 1 |
| 81 | 30 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 3 |
| 82 | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 1 |
| 83 | 10 | 1 | 3 | 3 | 1 | 0,57 | 0,38 | 0,22 | 3 | 1 |
| 84 | 45 | 3 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 3 |
| 85 | 45 | 3 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 86 | 38 | 3 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 87 | 0 | 1 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 1 |
| 88 | 0 | 1 | 3 | 2 | 2 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 1 |
| 89 | 45 | 3 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 90 | 18 | 1 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 2 |
| 91 | 30 | 3 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 92 | 40 | 3 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 93 | 26 | 2 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 94 | 0 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 | 1 |
| 95 | 30 | 3 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 3 |
| 96 | 0 | 1 | 3 | 2 | 3 | 0,63 | 0,25 | 0,11 | 3 | 1 |
| 97 | 0 | 1 | 2 | 2 | 3 | 0,57 | 0,14 | 0,22 | 2 | 1 |

Anexo 4 c - Tabela distância de Jaccard (Análise Dinâmica)

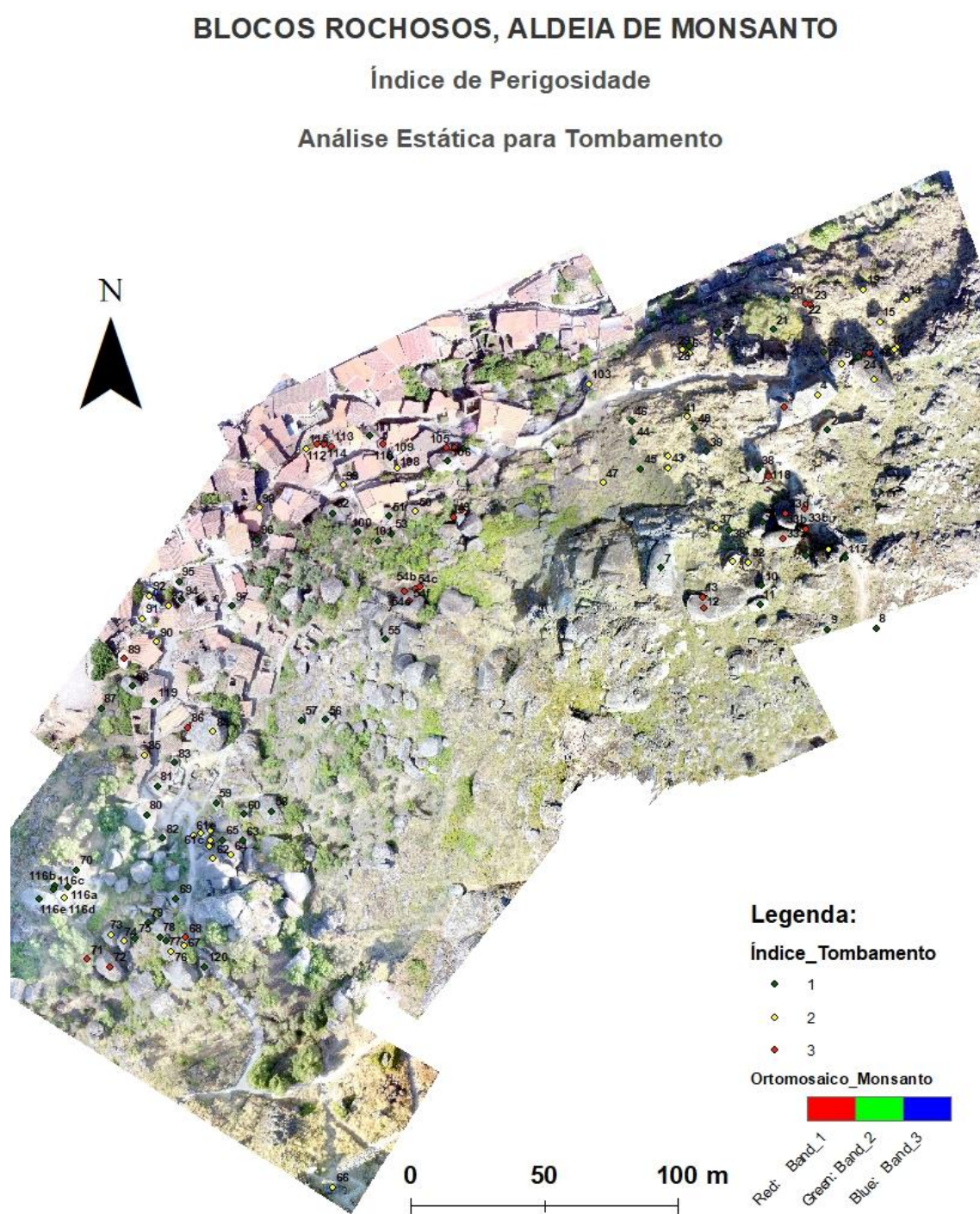
| ANÁLISE DINÂMICA | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|--------|-------------|----------------|-----------------------|-------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Nº BLOCO | minima dimensão, x´ | máxima dimensão, z´ | dimensão intermédia, y´ | dimensão (x' + y') /2 | peso dimensão dinâmica | volume | peso volume | arredondamento | dureza de Schmidt (r) | dureza de Schmidt (JCS) | peso JCS | Jaccard dist A1 | Jaccard Dist A2 | Jaccard Dist A3 | valor arquétipo final |
| 1 | 7,0 | 15,0 | 9,5 | 8,25 | 2 | 998 | 3 | 3 | 38 | 70 | 3 | 0,64 | 0,27 | 0,08 | 3 |
| 2 | 4,0 | 12,0 | 5,0 | 4,5 | 2 | 240 | 3 | 3 | 32 | 51 | 2 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 3 | 4,0 | 11,0 | 10,0 | 7 | 2 | 440 | 3 | 2 | 58 | 196 | 3 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 4 | 9,0 | 14,0 | 12,0 | 10,5 | 3 | 1512 | 3 | 2 | 46 | 107 | 3 | 0,64 | 0,27 | 0,08 | 3 |
| 5 | 6,5 | 11,0 | 7,0 | 6,75 | 2 | 501 | 3 | 1 | 33 | 54 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 6 | 3,0 | 6,0 | 5,0 | 4 | 2 | 90 | 2 | 2 | 37 | 68 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 |
| 7 | 6,0 | 15,0 | 10,0 | 8 | 2 | 900 | 3 | 2 | 40 | 79 | 3 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 8 | 2,6 | 5,5 | 4,0 | 3,3 | 2 | 57 | 2 | 3 | 37 | 67 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 9 | 1,8 | 4,0 | 3,0 | 2,4 | 2 | 22 | 1 | 3 | 29 | 44 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 10 | 1,5 | 3,0 | 2,0 | 1,75 | 2 | 9 | 1 | 3 | 30 | 47 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 11 | 3,5 | 6,0 | 4,0 | 3,75 | 2 | 84 | 2 | 3 | 30 | 47 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 12 | 5,0 | 7,0 | 7,0 | 6 | 3 | 245 | 3 | 3 | 34 | 56 | 2 | 0,64 | 0,27 | 0,08 | 3 |
| 13 | 2,0 | 3,5 | 2,0 | 2 | 2 | 14 | 1 | 3 | 28 | 43 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 14 | 2,1 | 3,0 | 2,5 | 2,3 | 3 | 16 | 1 | 3 | 24 | 34 | 2 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 15 | 5,1 | 6,0 | 5,5 | 5,3 | 3 | 168 | 2 | 2 | 28 | 42 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 16 | 2,0 | 3,0 | 2,0 | 2 | 2 | 12 | 1 | 1 | 22 | 32 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 17 | 1,0 | 2,0 | 2,0 | 1,5 | 3 | 2 | 1 | 1 | 27 | 40 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 18 | 1,3 | 2,0 | 1,5 | 1,4 | 3 | 4 | 1 | 1 | 29 | 45 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 19 | 1,5 | 3,0 | 2,0 | 1,75 | 2 | 9 | 1 | 2 | 23 | 32 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 20 | 1,8 | 3,5 | 2,0 | 1,9 | 2 | 13 | 1 | 1 | 32 | 51 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 21 | 1,3 | 4,6 | 2,0 | 1,65 | 2 | 12 | 1 | 2 | 30 | 46 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 22 | 2,0 | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 3 | 21 | 1 | 2 | 19 | 27 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 23 | 1,5 | 4,0 | 2,0 | 1,75 | 2 | 12 | 1 | 3 | 27 | 41 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 24 | 3,0 | 4,0 | 3,0 | 3 | 3 | 36 | 1 | 2 | 26 | 38 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 25 | 4,0 | 4,5 | 4,3 | 4,15 | 3 | 77 | 2 | 2 | 24 | 35 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 26 | 3,0 | 8,0 | 6,5 | 4,75 | 2 | 156 | 2 | 1 | 28 | 42 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 27 | 2,0 | 4,0 | 2,0 | 2 | 2 | 32 | 1 | 3 | 32 | 52 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 28 | 1,5 | 2,0 | 1,5 | 1,5 | 3 | 6 | 1 | 2 | 35 | 59 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 29 | 1,5 | 3,0 | 1,8 | 1,65 | 2 | 8 | 1 | 2 | 28 | 42 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 30 | 2,5 | 5,0 | 3,0 | 2,75 | 2 | 38 | 1 | 2 | 33 | 55 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 31 | 3,7 | 8,1 | 5,0 | 4,35 | 2 | 150 | 2 | 2 | 30 | 47 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 |
| 32 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4 | 3 | 64 | 2 | 2 | 27 | 40 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 33a | 4,0 | 8,0 | 6,0 | 5 | 2 | 192 | 2 | 3 | 32 | 52 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 33b | 2,0 | 6,0 | 4,0 | 3 | 2 | 48 | 1 | 2 | 29 | 45 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 33c | 5,0 | 11,5 | 10,0 | 7,5 | 2 | 575 | 3 | 3 | 31 | 50 | 2 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 33d | 6,0 | 12,0 | 11,5 | 8,75 | 3 | 828 | 3 | 3 | 31 | 49 | 2 | 0,64 | 0,27 | 0,08 | 3 |

| ANÁLISE DINÂMICA | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|--------|-------------|----------------|-----------------------|-------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Nº BLOCO | minima dimensão, x´ | máxima dimensão, z´ | dimensão intermédia, y´ | dimensão (x´ + y´) /2 | peso dimensão dinâmica | volume | peso volume | arredondamento | dureza de Schmidt (r) | dureza de Schmidt (JCS) | peso JCS | Jaccard dist A1 | Jaccard Dist A2 | Jaccard Dist A3 | valor arquétipo final |
| 34 | 6,0 | 12,0 | 8,0 | 7 | 2 | 576 | 3 | 2 | 38 | 70 | 3 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 35 | 5,0 | 8,0 | 5,0 | 5 | 2 | 200 | 2 | 2 | 33 | 54 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 |
| 36 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4 | 3 | 64 | 2 | 2 | 27 | 41 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 37 | 4,0 | 6,0 | 5,0 | 4,5 | 3 | 120 | 2 | 2 | 26 | 39 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 38 | 4,9 | 8,0 | 8,0 | 6,45 | 3 | 314 | 3 | 1 | 29 | 44 | 2 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 39 | 5,0 | 6,0 | 6,0 | 5,5 | 3 | 180 | 2 | 2 | 31 | 48 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 40 | 1,0 | 3,0 | 2,0 | 1,5 | 2 | 6 | 1 | 2 | 25 | 36 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 41 | 2,0 | 3,0 | 2,0 | 2 | 2 | 12 | 1 | 2 | 31 | 48 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 42 | 1,7 | 5,0 | 4,5 | 3,1 | 2 | 38 | 1 | 2 | 34 | 56 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 43 | 1,5 | 3,0 | 2,0 | 1,75 | 2 | 9 | 1 | 3 | 16 | 23 | 1 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 44 | 1,5 | 3,0 | 2,0 | 1,75 | 2 | 9 | 1 | 2 | 23 | 33 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 45 | 1,0 | 3,5 | 2,0 | 1,5 | 2 | 7 | 1 | 2 | 28 | 42 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 46 | 1,5 | 3,0 | 2,0 | 1,75 | 2 | 9 | 1 | 1 | 30 | 47 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 47 | 2,0 | 3,0 | 2,5 | 2,25 | 3 | 15 | 1 | 1 | 21 | 29 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 48 | 3,0 | 4,0 | 3,5 | 3,25 | 3 | 42 | 1 | 1 | 29 | 44 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 49 | 2,5 | 3,5 | 3,0 | 2,75 | 3 | 26 | 1 | 1 | 29 | 45 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 50 | 6,0 | 7,5 | 6,5 | 6,25 | 3 | 293 | 3 | 2 | 39 | 73 | 3 | 0,64 | 0,27 | 0,08 | 3 |
| 51 | 4,0 | 7,0 | 6,0 | 5 | 3 | 168 | 2 | 2 | 37 | 67 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 52 | 5,0 | 9,0 | 8,5 | 6,75 | 3 | 383 | 3 | 3 | 32 | 53 | 2 | 0,64 | 0,27 | 0,08 | 3 |
| 53 | 2,0 | 5,0 | 3,0 | 2,5 | 2 | 30 | 1 | 1 | 26 | 38 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 54b | 2,5 | 4,5 | 4,0 | 3,25 | 3 | 45 | 1 | 1 | 29 | 45 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 54c | 2,0 | 2,5 | 2,5 | 2,25 | 3 | 13 | 1 | 2 | 25 | 36 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 54f | 4,0 | 11,0 | 10,0 | 7 | 2 | 440 | 3 | 2 | 30 | 47 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 54e | 2,5 | 6,0 | 3,0 | 2,75 | 2 | 45 | 1 | 2 | 28 | 42 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 55 | 4,0 | 6,0 | 4,0 | 4 | 2 | 96 | 2 | 2 | 30 | 47 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 |
| 56 | 3,0 | 6,0 | 4,0 | 3,5 | 2 | 72 | 2 | 3 | 28 | 42 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 57 | 1,2 | 3,5 | 2,0 | 1,6 | 2 | 8 | 1 | 2 | 29 | 44 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 58 | 6,0 | 15,0 | 8,0 | 7 | 2 | 720 | 3 | 3 | 25 | 37 | 2 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 59 | 3,5 | 4,5 | 4,0 | 3,75 | 3 | 63 | 2 | 2 | 26 | 38 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 60 | 4,0 | 4,5 | 4,2 | 4,1 | 3 | 76 | 2 | 2 | 28 | 42 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 61a | 1,5 | 4,0 | 2,0 | 1,75 | 2 | 12 | 1 | 2 | 29 | 44 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 61b | 2,0 | 4,0 | 2,8 | 2,4 | 2 | 22 | 1 | 2 | 31 | 50 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 61c | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4 | 3 | 64 | 2 | 1 | 28 | 42 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 61d | 5,0 | 6,5 | 6,0 | 5,5 | 3 | 195 | 2 | 1 | 40 | 78 | 3 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 61e | 1,0 | 3,0 | 1,9 | 1,45 | 2 | 6 | 1 | 2 | 29 | 45 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 62 | 7,0 | 12,0 | 9,5 | 8,25 | 3 | 798 | 3 | 3 | 53 | 147 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 |
| 63 | 5,0 | 8,5 | 8,0 | 6,5 | 3 | 340 | 3 | 3 | 36 | 62 | 2 | 0,64 | 0,27 | 0,08 | 3 |

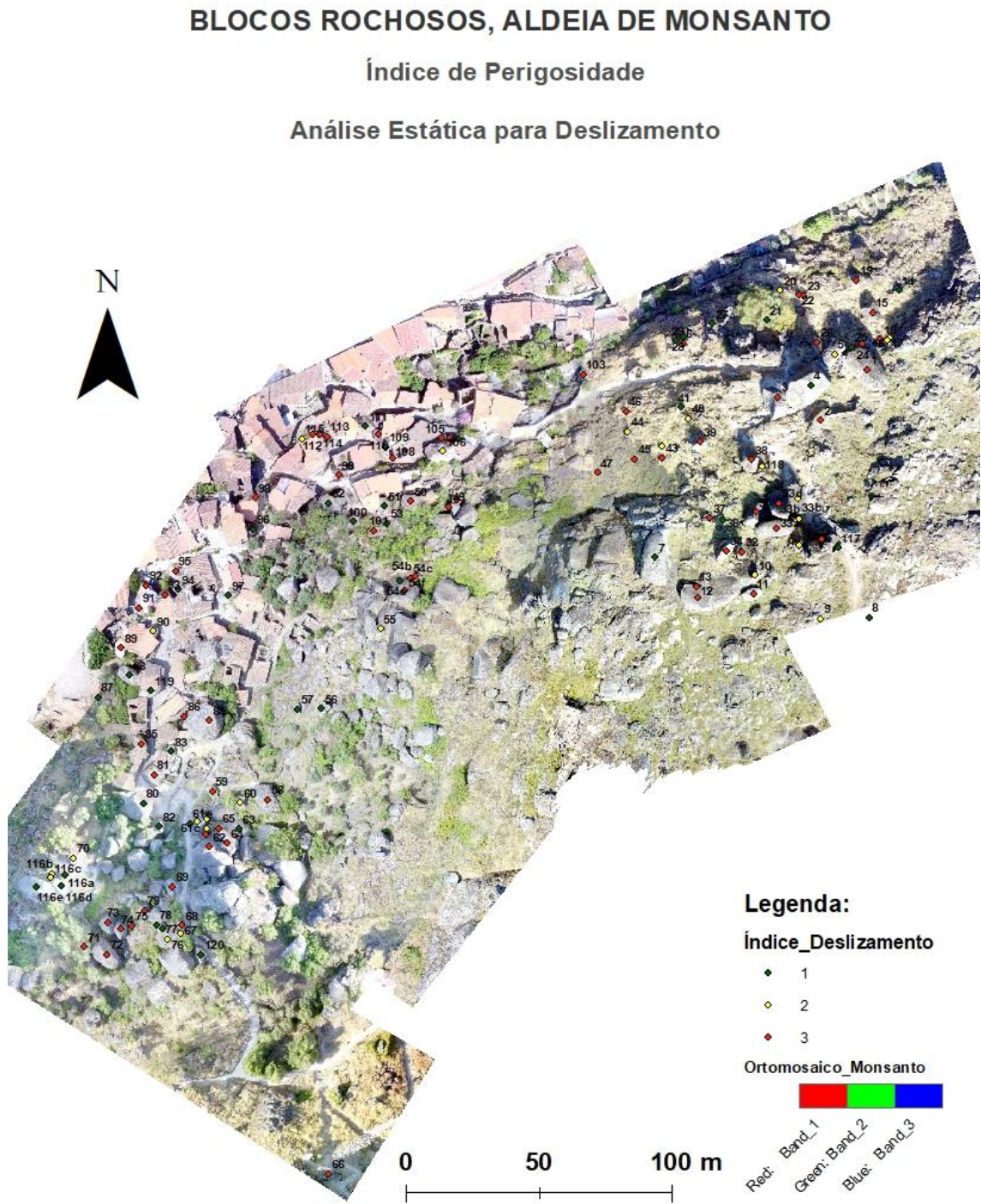
| ANÁLISE DINÂMICA | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|--------|-------------|----------------|-----------------------|-------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Nº BLOCO | minima dimensão, x´ | máxima dimensão, z´ | dimensão intermédia, y´ | dimensão (x´ + y´) /2 | peso dimensão dinâmica | volume | peso volume | arredondamento | dureza de Schmidt (r) | dureza de Schmidt (JCS) | peso JCS | Jaccard dist A1 | Jaccard Dist A2 | Jaccard Dist A3 | valor arquétipo final |
| 64 | 5,0 | 10,0 | 5,0 | 5 | 2 | 250 | 3 | 1 | 30 | 47 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 65 | 1,3 | 6,0 | 3,5 | 2,4 | 2 | 27 | 1 | 1 | 34 | 58 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 66 | 5,0 | 8,0 | 6,5 | 5,75 | 3 | 260 | 3 | 1 | 34 | 56 | 2 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 67 | 3,0 | 5,0 | 4,0 | 3,5 | 3 | 60 | 2 | 2 | 26 | 39 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 68 | 3,0 | 6,0 | 3,5 | 3,25 | 2 | 63 | 2 | 1 | 36 | 64 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 69 | 6,0 | 8,0 | 6,0 | 6 | 3 | 288 | 3 | 3 | 45 | 100 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 |
| 70 | 2,0 | 5,0 | 3,0 | 2,5 | 2 | 30 | 1 | 2 | 29 | 44 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 71 | 5,0 | 10,0 | 6,0 | 5,5 | 2 | 300 | 3 | 3 | 41 | 81 | 3 | 0,64 | 0,27 | 0,08 | 3 |
| 72 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 6 | 2 | 360 | 3 | 2 | 34 | 58 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 73 | 6,0 | 7,0 | 6,0 | 6 | 3 | 252 | 3 | 2 | 47 | 108 | 3 | 0,64 | 0,27 | 0,08 | 3 |
| 74 | 4,0 | 6,0 | 4,5 | 4,25 | 3 | 108 | 2 | 2 | 44 | 93 | 3 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 75 | 2,0 | 4,0 | 3,0 | 2,5 | 2 | 24 | 1 | 1 | 27 | 41 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 76 | 5,0 | 11,0 | 9,0 | 7 | 2 | 495 | 3 | 3 | 30 | 47 | 2 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 77 | 3,0 | 4,0 | 3,0 | 3 | 3 | 36 | 1 | 1 | 30 | 47 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 78 | 2,5 | 5,0 | 4,0 | 3,25 | 2 | 50 | 2 | 1 | 32 | 53 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 79 | 3,0 | 6,3 | 4,0 | 3,5 | 2 | 76 | 2 | 2 | 33 | 54 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 |
| 80 | 9,0 | 10,0 | 9,0 | 9 | 3 | 900 | 3 | 1 | 37 | 65 | 2 | 0,56 | 0,30 | 0,25 | 3 |
| 81 | 5,0 | 7,5 | 6,0 | 5,5 | 3 | 225 | 3 | 2 | 38 | 70 | 3 | 0,64 | 0,27 | 0,08 | 3 |
| 82 | 5,0 | 7,5 | 6,0 | 5,5 | 3 | 225 | 3 | 2 | 37 | 67 | 2 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 83 | 2,5 | 3,5 | 2,5 | 2,5 | 3 | 31 | 1 | 1 | 41 | 82 | 3 | 0,50 | 0,40 | 0,33 | 3 |
| 84 | 5,0 | 10,0 | 8,0 | 6,5 | 2 | 400 | 3 | 2 | 32 | 52 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 85 | 4,0 | 8,0 | 7,0 | 5,5 | 3 | 224 | 3 | 2 | 36 | 62 | 2 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 86 | 2,5 | 6,0 | 3,0 | 2,75 | 2 | 45 | 1 | 1 | 27 | 41 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 87 | 2,0 | 2,5 | 2,0 | 2 | 3 | 10 | 1 | 1 | 30 | 47 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 88 | 5,5 | 10,0 | 8,0 | 6,75 | 3 | 440 | 3 | 3 | 46 | 105 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 |
| 89 | 4,0 | 5,0 | 4,5 | 4,25 | 3 | 90 | 2 | 3 | 30 | 47 | 2 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 90 | 3,0 | 5,5 | 4,0 | 3,5 | 2 | 66 | 2 | 2 | 28 | 43 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 |
| 91 | 4,0 | 8,5 | 5,0 | 4,5 | 2 | 170 | 2 | 3 | 30 | 47 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 92 | 4,0 | 8,0 | 5,0 | 4,5 | 2 | 160 | 2 | 3 | 35 | 61 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 93 | 4,0 | 6,0 | 5,0 | 4,5 | 3 | 120 | 2 | 2 | 30 | 47 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 94 | 2,5 | 5,0 | 4,0 | 3,25 | 2 | 50 | 2 | 3 | 30 | 47 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 95 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5 | 3 | 125 | 2 | 2 | 26 | 38 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 96 | 3,5 | 6,5 | 5,0 | 4,25 | 2 | 114 | 2 | 3 | 37 | 66 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 97 | 4,0 | 7,0 | 4,5 | 4,25 | 2 | 126 | 2 | 3 | 36 | 63 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 98 | 4,0 | 10,0 | 5,0 | 4,5 | 2 | 200 | 2 | 3 | 33 | 54 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 99 | 3,0 | 4,0 | 4,0 | 3,5 | 3 | 36 | 1 | 2 | 34 | 57 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 100 | 3,0 | 5,7 | 4,0 | 3,5 | 2 | 68 | 2 | 2 | 27 | 39 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 |

| ANÁLISE DINÂMICA | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|--------|-------------|----------------|-----------------------|-------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| Nº BLOCO | | | | | | | | | | | | | | valor arquetipo final | |
| | minima dimensão, x´ | máxima dimensão, z´ | dimensão intermédia, y´ | dimensão (x´ + y´) /2 | peso dimensão dinâmica | volume | peso volume | arredondamento | dureza de Schmidt (r) | dureza de Schmidt (JCS) | peso JCS | Jaccard dist A1 | Jaccard Dist A2 | | Jaccard Dist A3 |
| 101 | 4,0 | 10,0 | 4,0 | 4 | 2 | 160 | 2 | 2 | 30 | 47 | 2 | 0,50 | 0,00 | 0,33 | 2 |
| 102 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4 | 3 | 64 | 2 | 1 | 33 | 54 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 103 | 2,5 | 5,0 | 2,5 | 2,5 | 2 | 31 | 1 | 2 | 32 | 51 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 104 | 2,0 | 5,0 | 5,0 | 3,5 | 3 | 50 | 2 | 2 | 30 | 46 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 105 | 3,0 | 5,7 | 4,0 | 3,5 | 2 | 68 | 2 | 3 | 27 | 41 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 106 | 6,0 | 13,0 | 6,0 | 6 | 2 | 468 | 3 | 3 | 31 | 50 | 2 | 0,60 | 0,20 | 0,17 | 3 |
| 108 | 4,0 | 6,0 | 4,5 | 4,25 | 3 | 108 | 2 | 1 | 37 | 65 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 109 | 2,0 | 4,0 | 3,0 | 2,5 | 2 | 24 | 1 | 3 | 31 | 48 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 110 | 4,0 | 5,0 | 4,9 | 4,45 | 3 | 98 | 2 | 1 | 36 | 64 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 111 | 5,0 | 7,1 | 6,4 | 5,68 | 3 | 225 | 3 | 3 | 38 | 71 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 |
| 112 | 5,0 | 7,5 | 7,0 | 6 | 3 | 263 | 3 | 3 | 38 | 71 | 3 | 0,67 | 0,33 | 0,00 | 3 |
| 113 | 3,5 | 4,0 | 3,7 | 3,6 | 3 | 52 | 2 | 1 | 34 | 58 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 114 | 3,5 | 6,5 | 4,0 | 3,75 | 2 | 91 | 2 | 1 | 32 | 53 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 115 | 2,0 | 3,0 | 2,5 | 2,25 | 3 | 15 | 1 | 1 | 31 | 49 | 2 | 0,43 | 0,33 | 0,42 | 2 |
| 116a | 2,5 | 5,5 | 4,0 | 3,25 | 2 | 55 | 2 | 1 | 32 | 52 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 116b | 0,8 | 2,5 | 1,0 | 0,9 | 2 | 2 | 1 | 1 | 30 | 47 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 116c | 0,5 | 2,0 | 2,0 | 1,25 | 2 | 2 | 1 | 1 | 30 | 47 | 2 | 0,33 | 0,25 | 0,50 | 2 |
| 116d | 5,5 | 10,0 | 7,0 | 6,25 | 2 | 385 | 3 | 2 | 30 | 47 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 116e | 6,0 | 15,0 | 12,0 | 9 | 2 | 1080 | 3 | 2 | 30 | 47 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 117 | 1,0 | 3,5 | 1,8 | 1,4 | 2 | 6 | 1 | 2 | 25 | 36 | 2 | 0,43 | 0,13 | 0,42 | 2 |
| 118 | 3,5 | 4,0 | 4,0 | 3,75 | 3 | 56 | 2 | 2 | 28 | 42 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 119 | 2,0 | 6,0 | 3,0 | 2,5 | 2 | 36 | 1 | 3 | 29 | 44 | 2 | 0,50 | 0,22 | 0,33 | 2 |
| 120 | 6,0 | 10,0 | 6,0 | 6 | 2 | 360 | 3 | 2 | 28 | 43 | 2 | 0,56 | 0,11 | 0,25 | 2 |
| 133 | TOTAL | | | | | | | | | | | | | | |

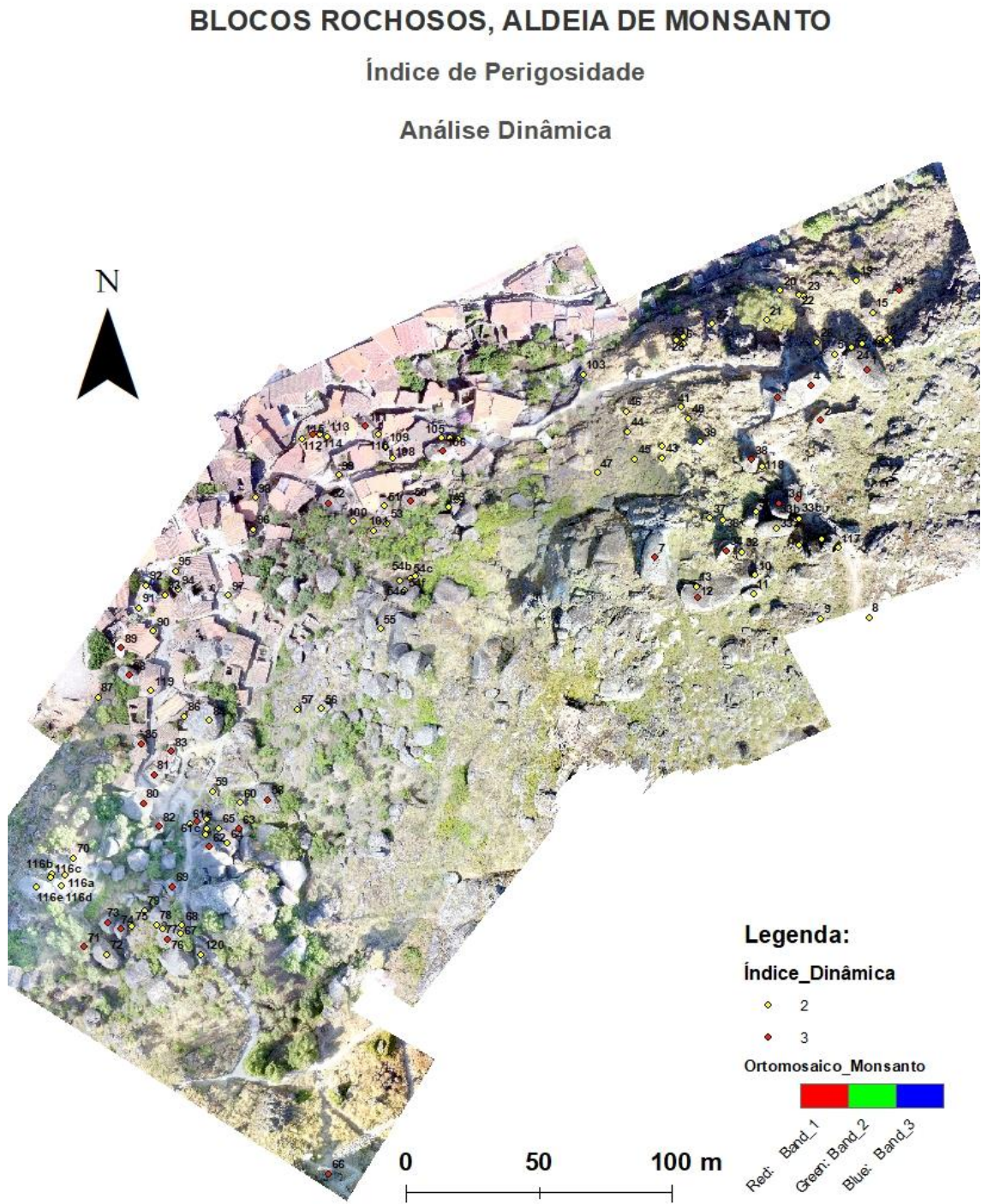
ANEXO 5 – Mapas Índice de Perigosidade



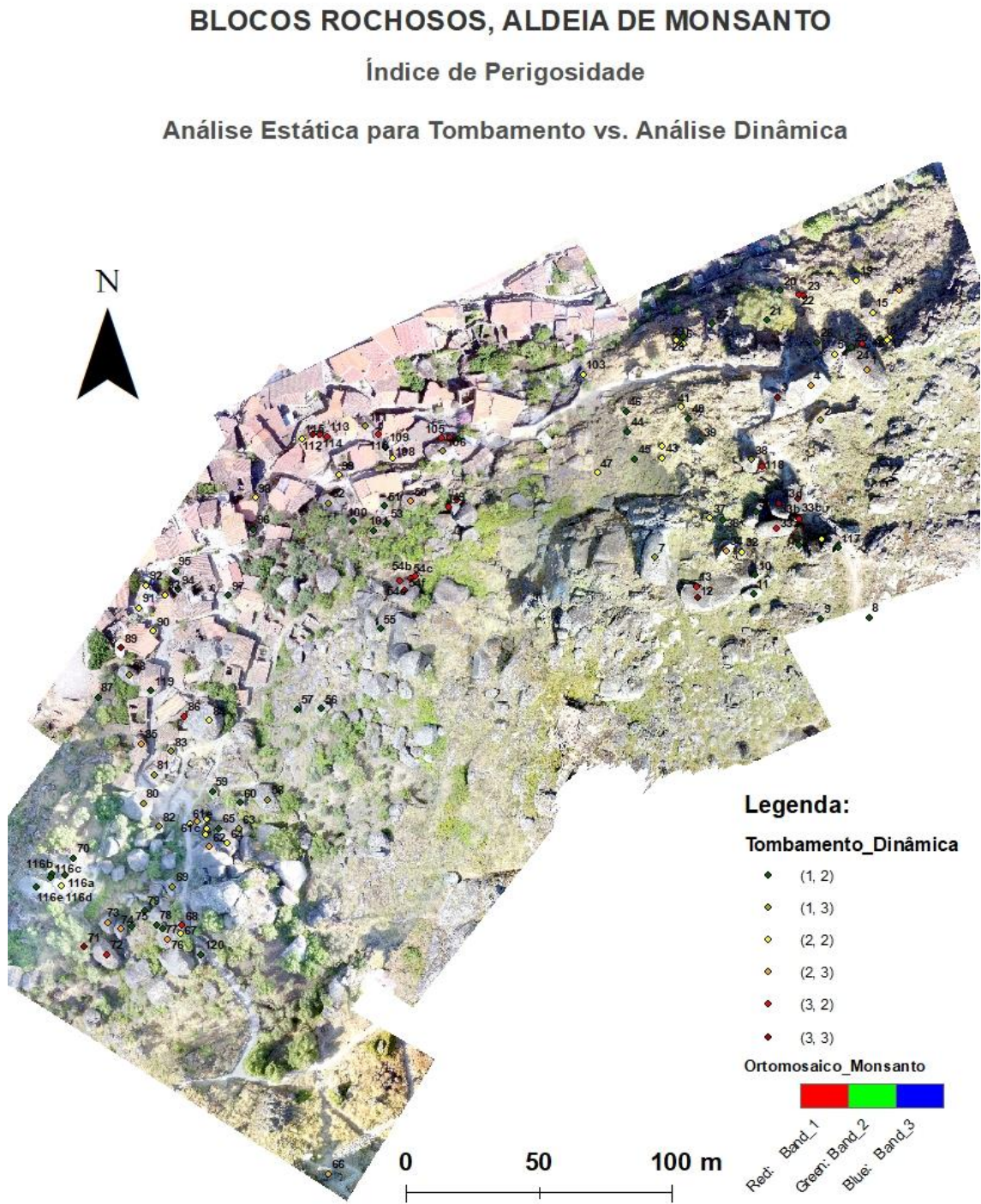
Anexo 5 a - Índice de Perigosidade para Tombamento



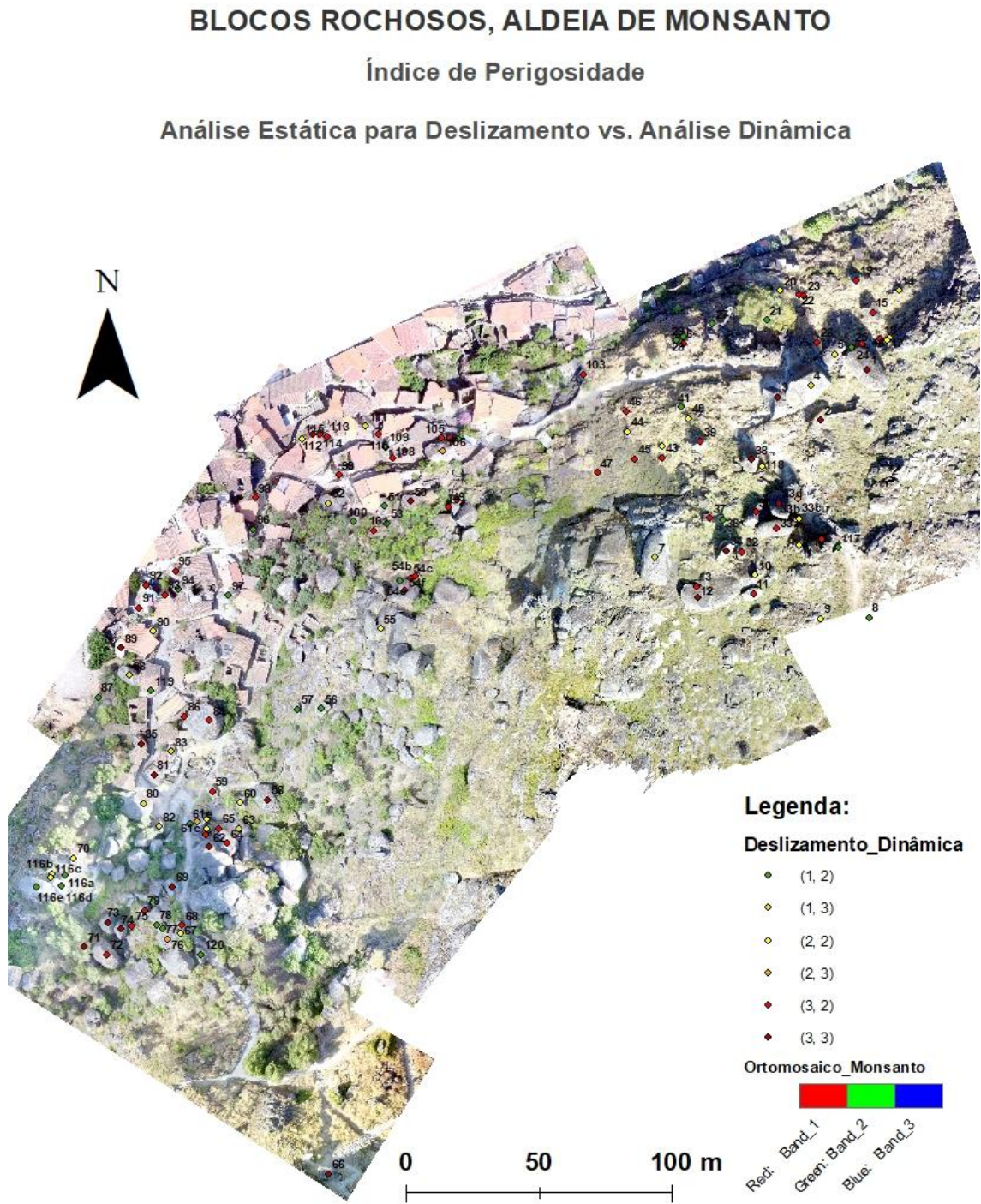
Anexo 5 b - Índice de Perigosidade para Deslizamento



Anexo 5 c - Índice de Perigosidade para Análise Dinâmica

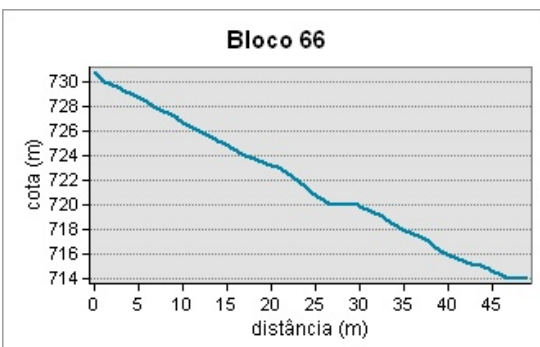
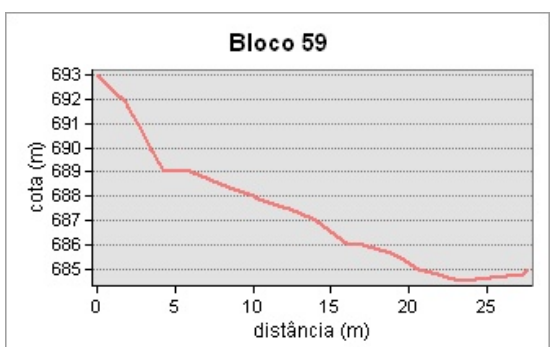
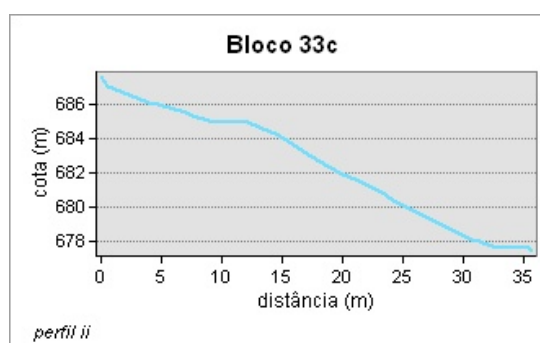
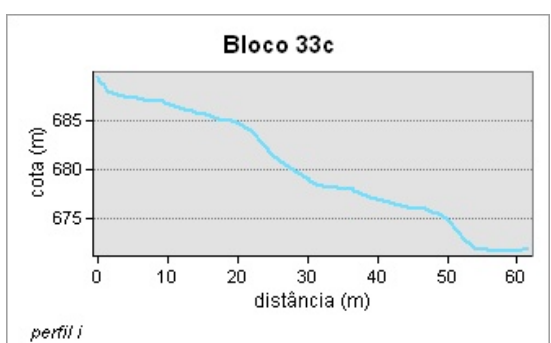
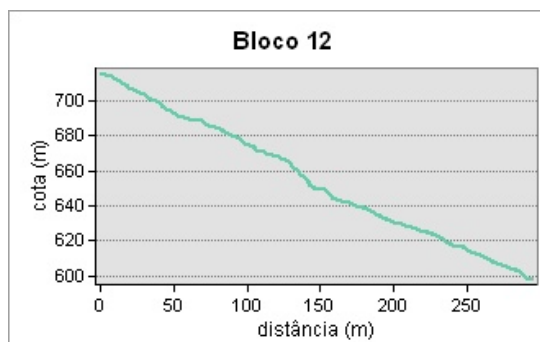
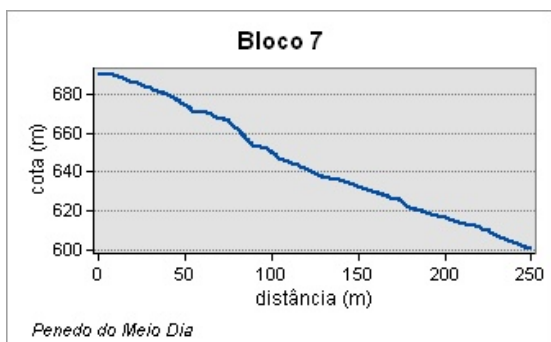
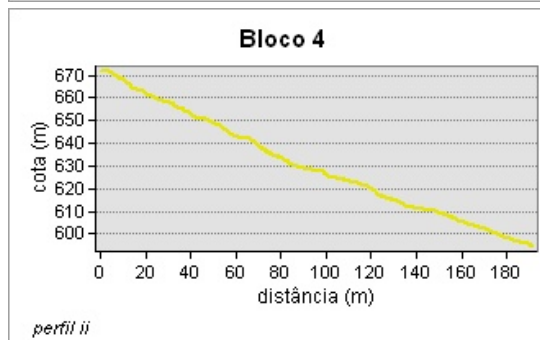
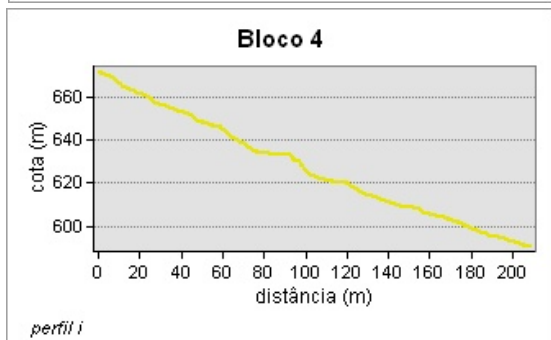
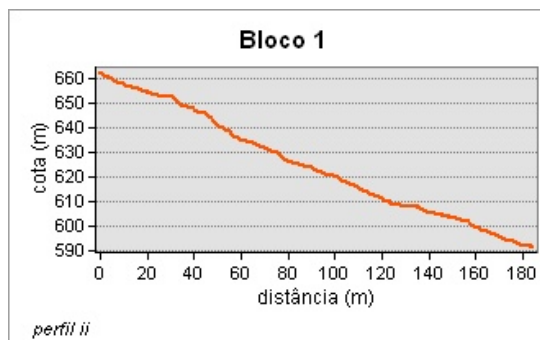
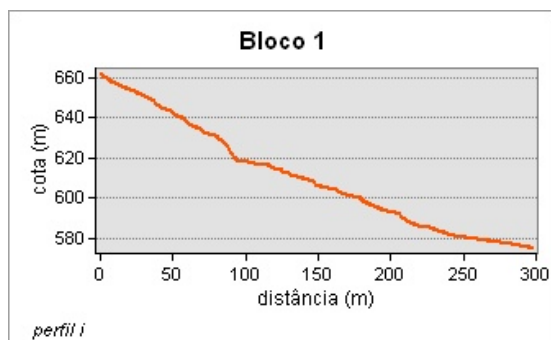


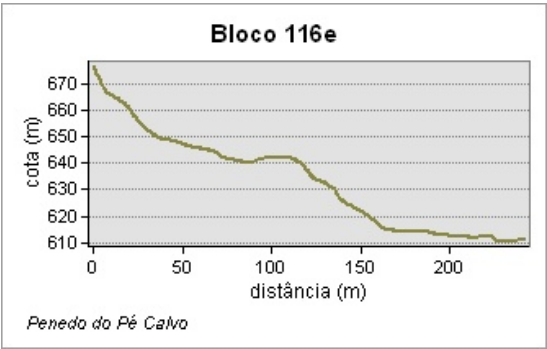
Anexo 5 d - Combinação do Índice de Perigosidade para Tombamento e Análise Dinâmica



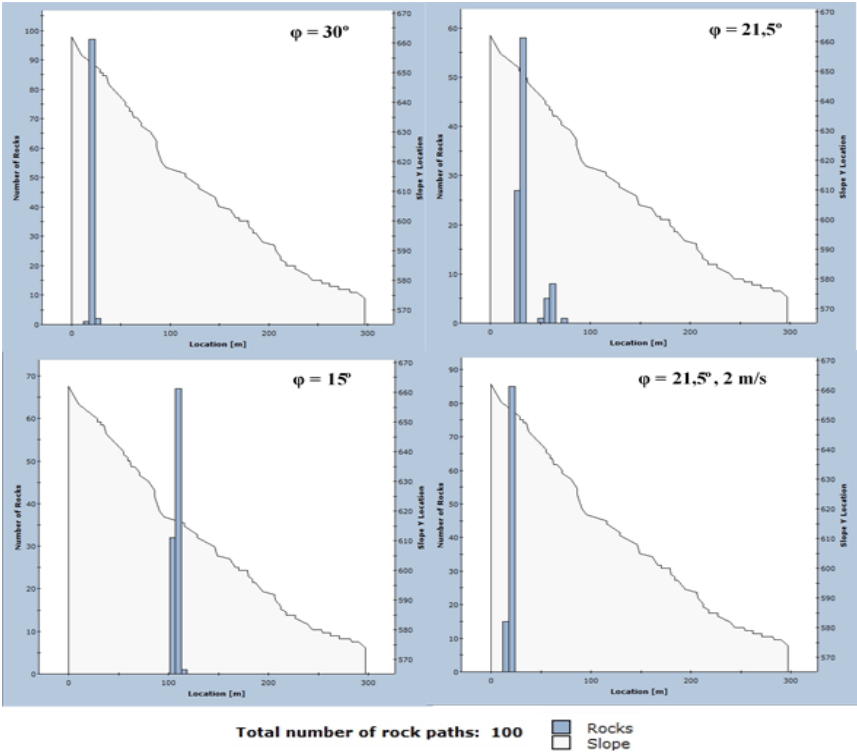
Anexo 5 e - Combinação do Índice de Perigosidade para Deslizamento e Análise Dinâmica

ANEXO 6 – Perfis Topográficos, ArcMap

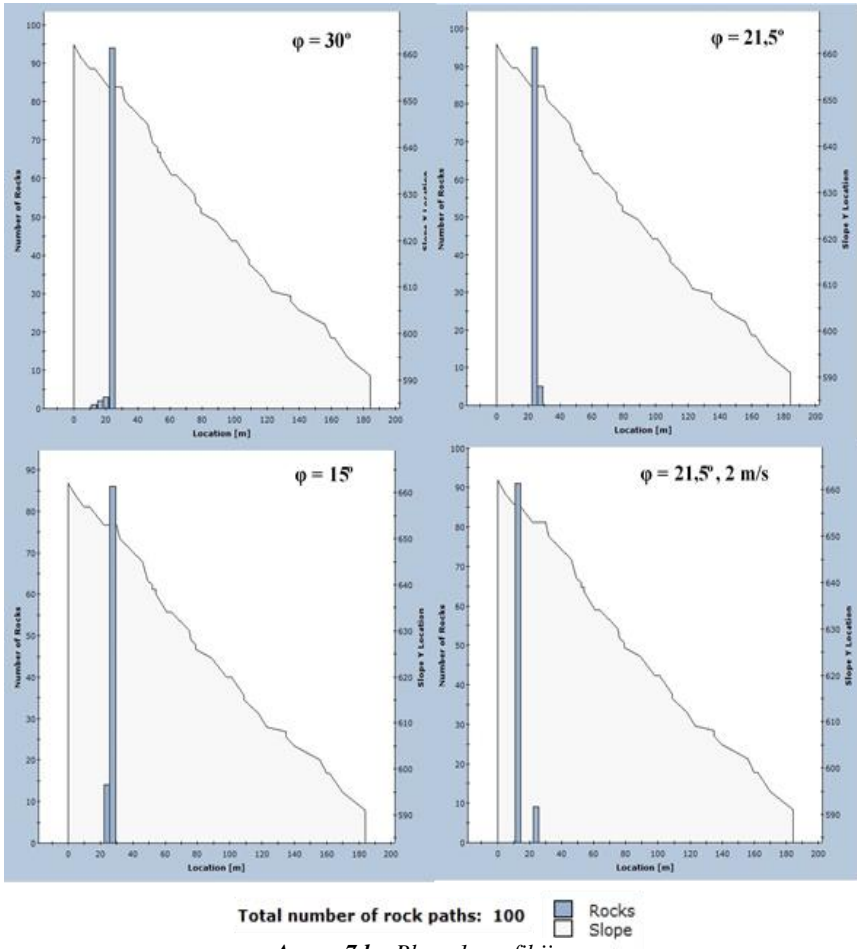




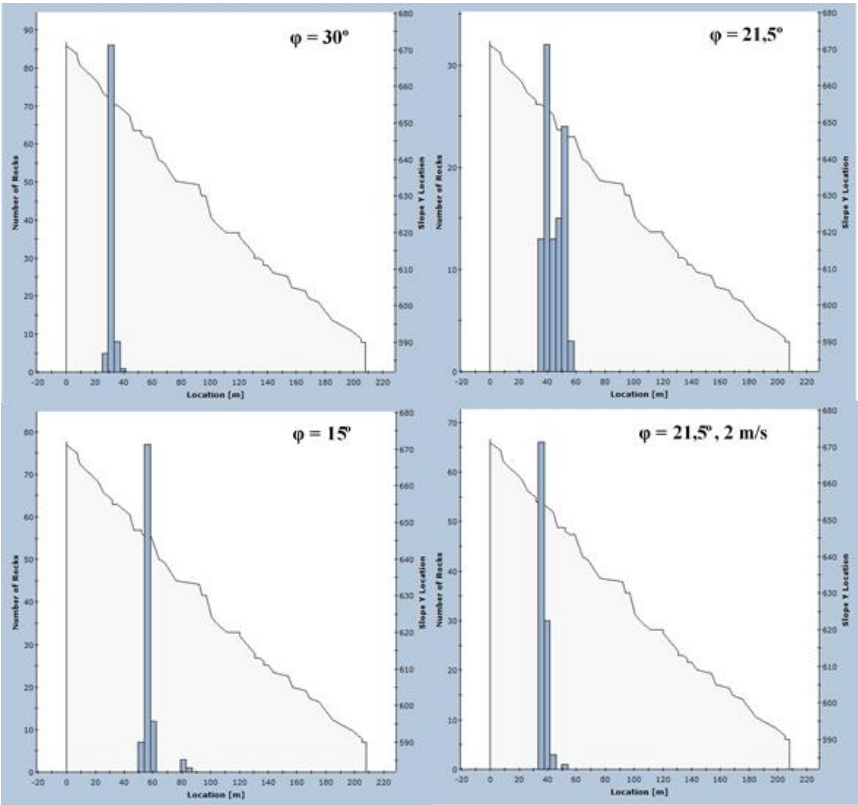
ANEXO 7 – Trajectórias e Alcances, RocFall



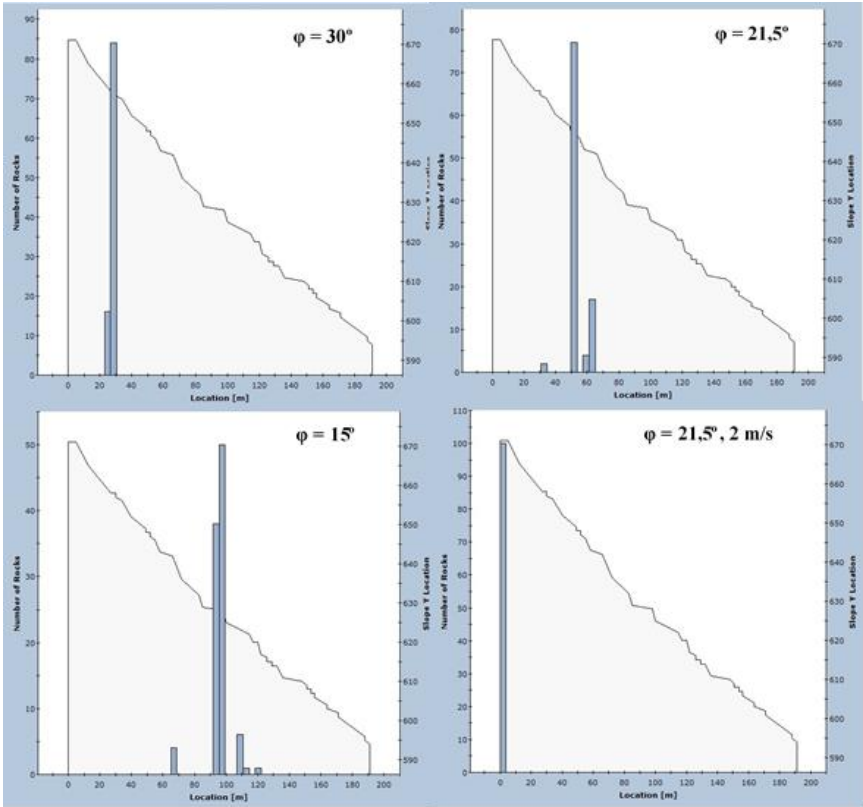
Anexo 7 a - Bloco 1, perfil i



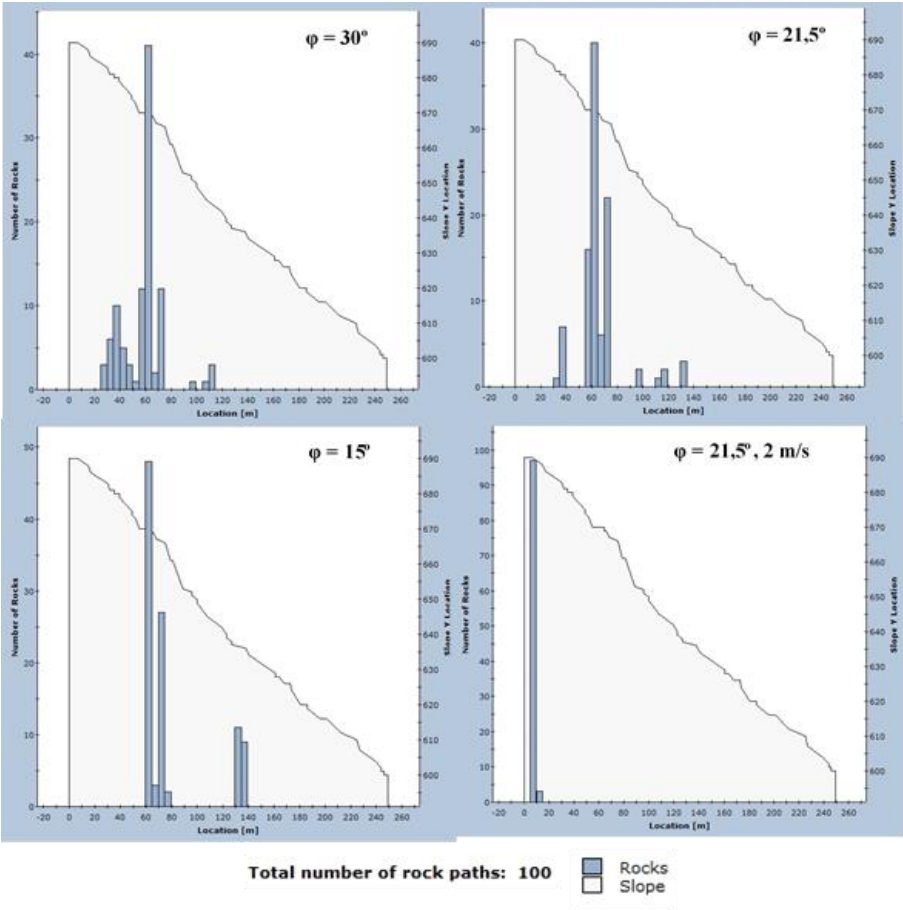
Anexo 7 b - Bloco 1, perfil ii



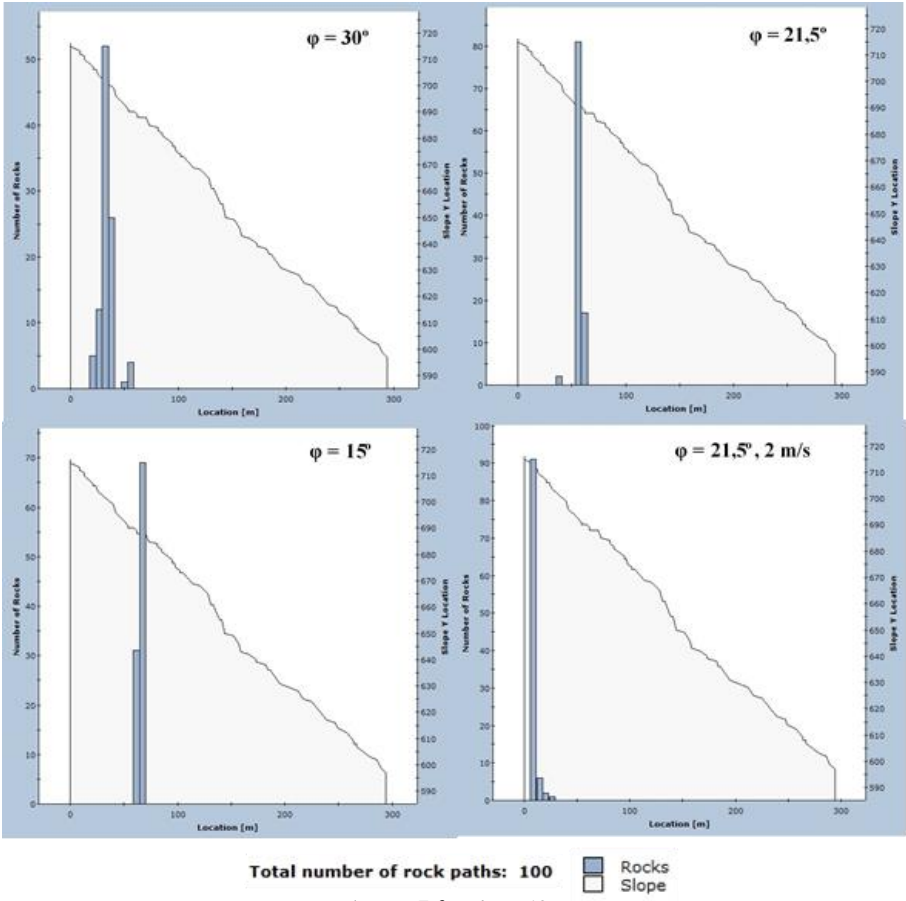
Total number of rock paths: 100
Anexo 7 c - Bloco 4, perfil i



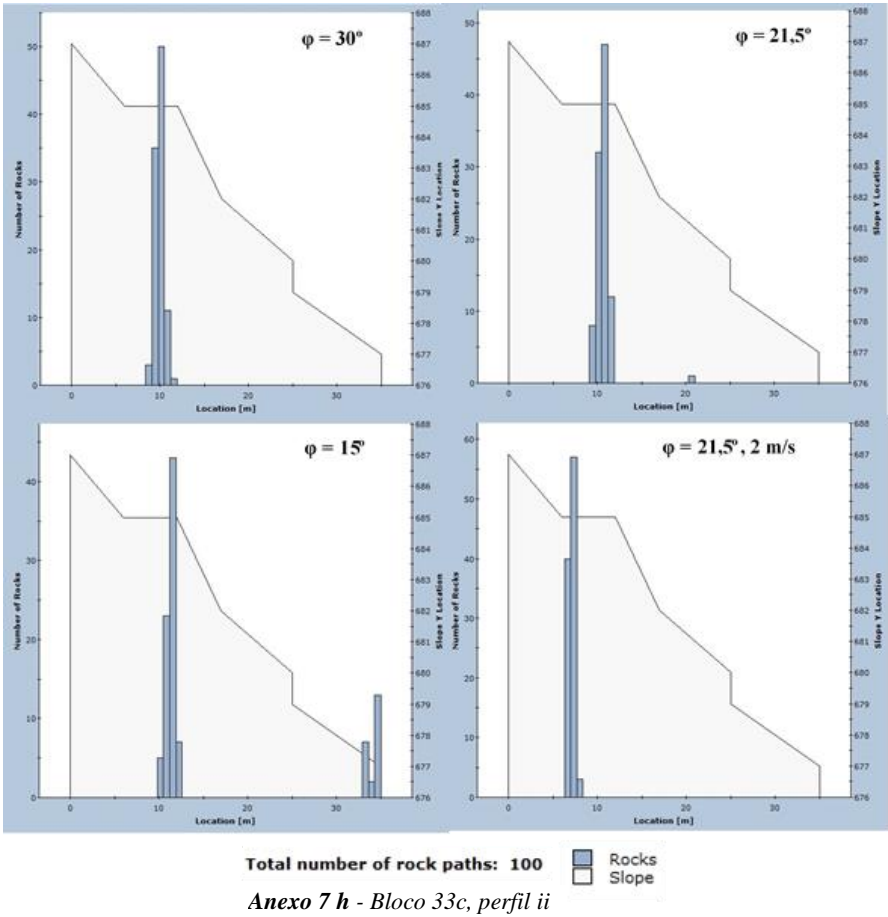
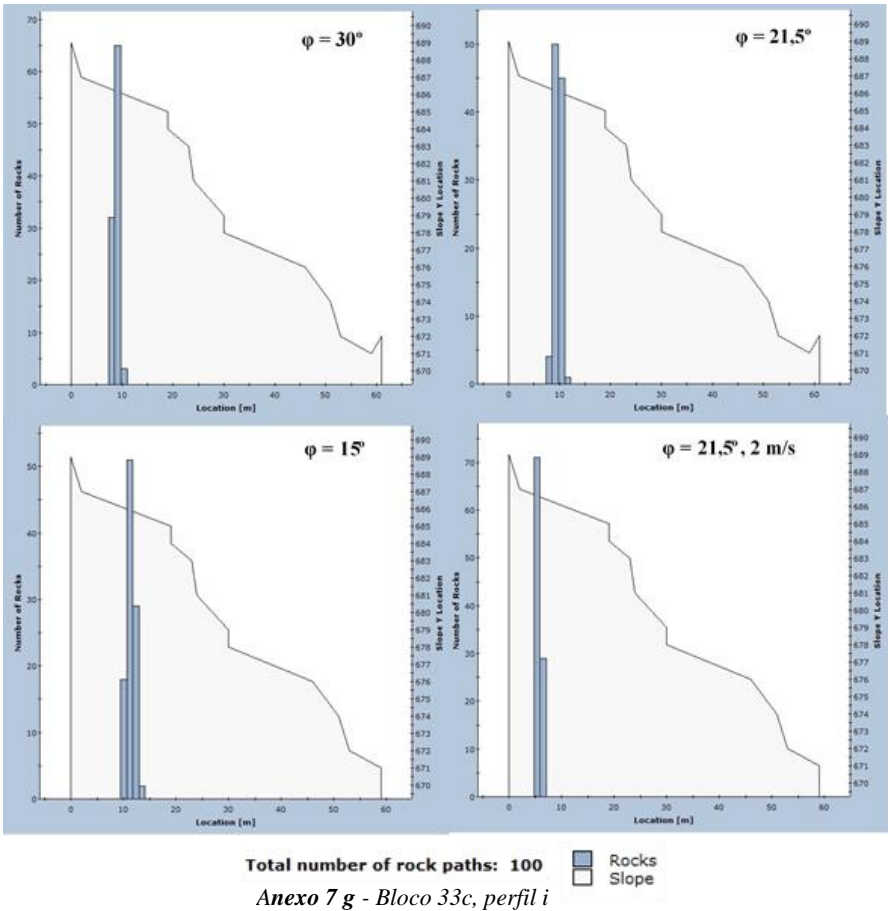
Total number of rock paths: 100
Anexo 7 d - Bloco 4, perfil ii

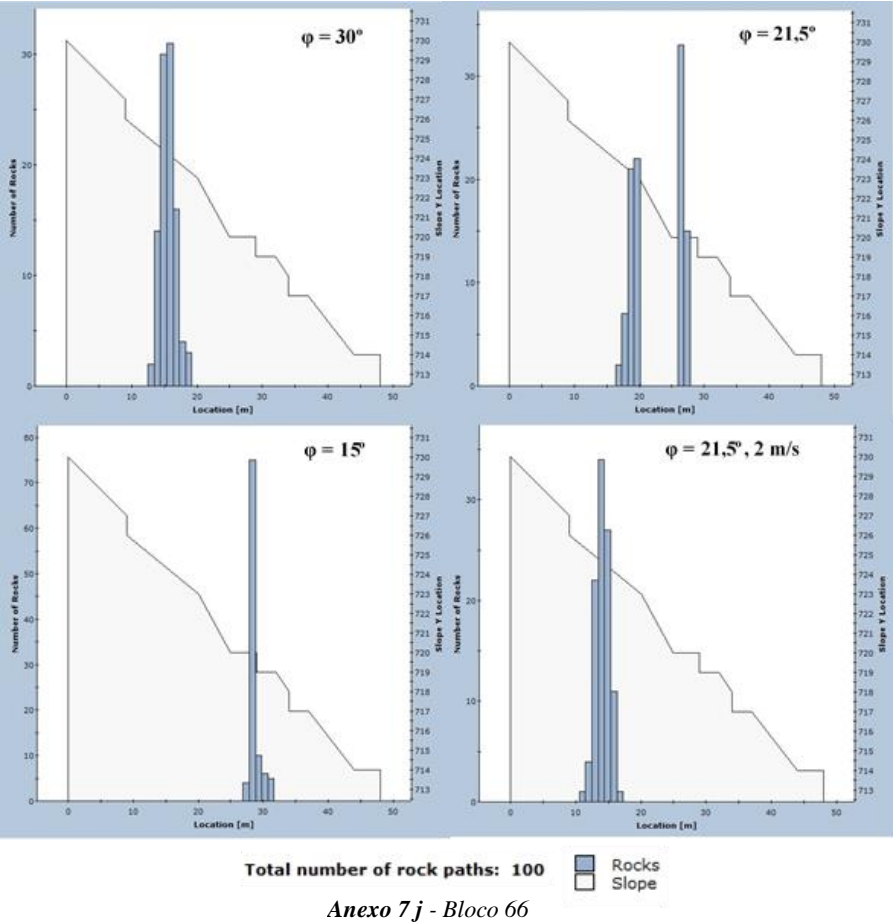
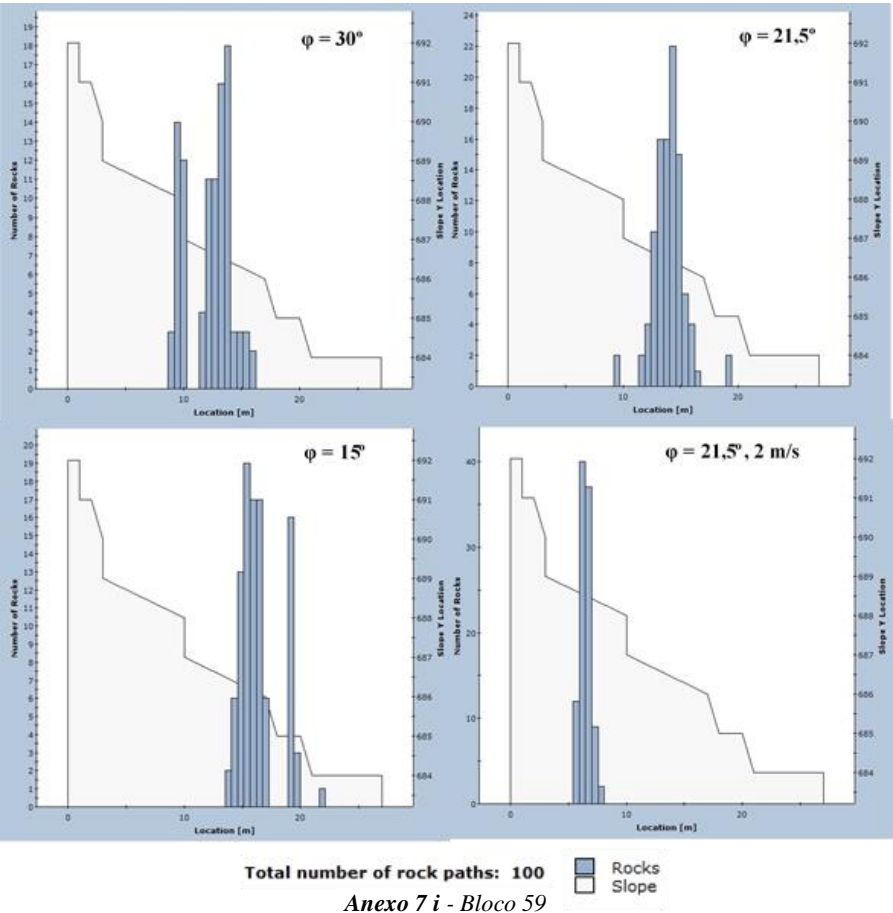


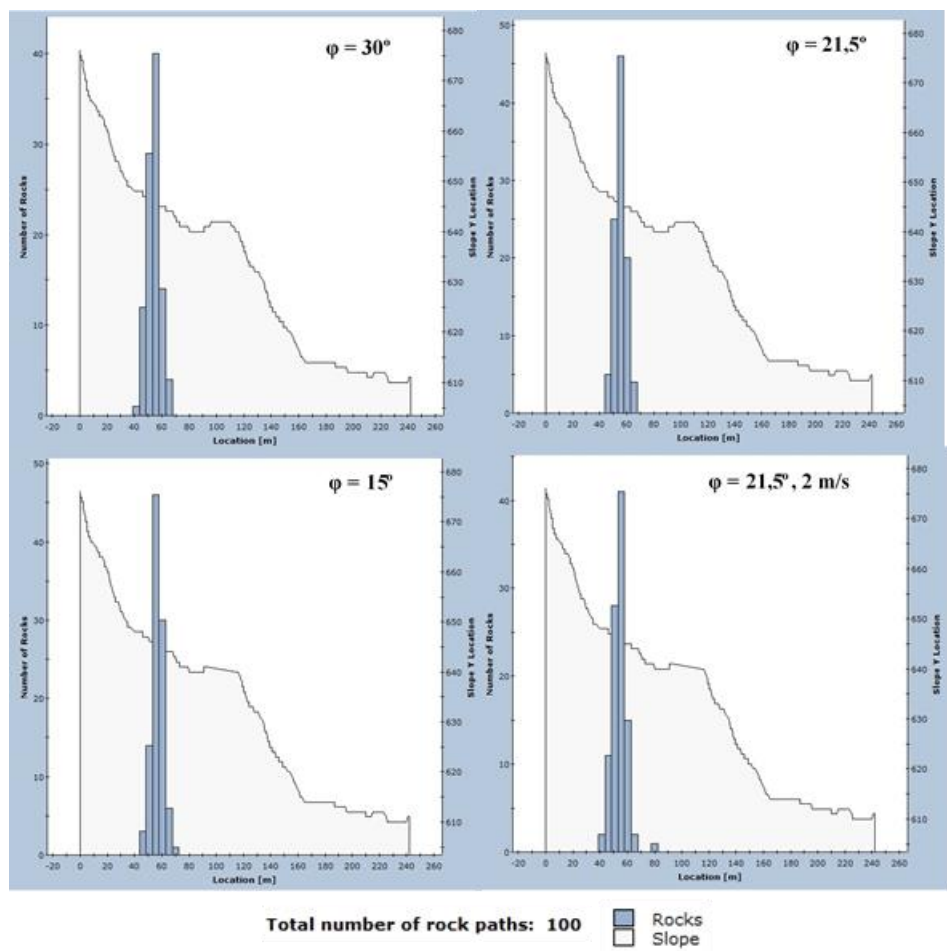
Anexo 7 e - Bloco 7



Anexo 7 f - Bloco 12

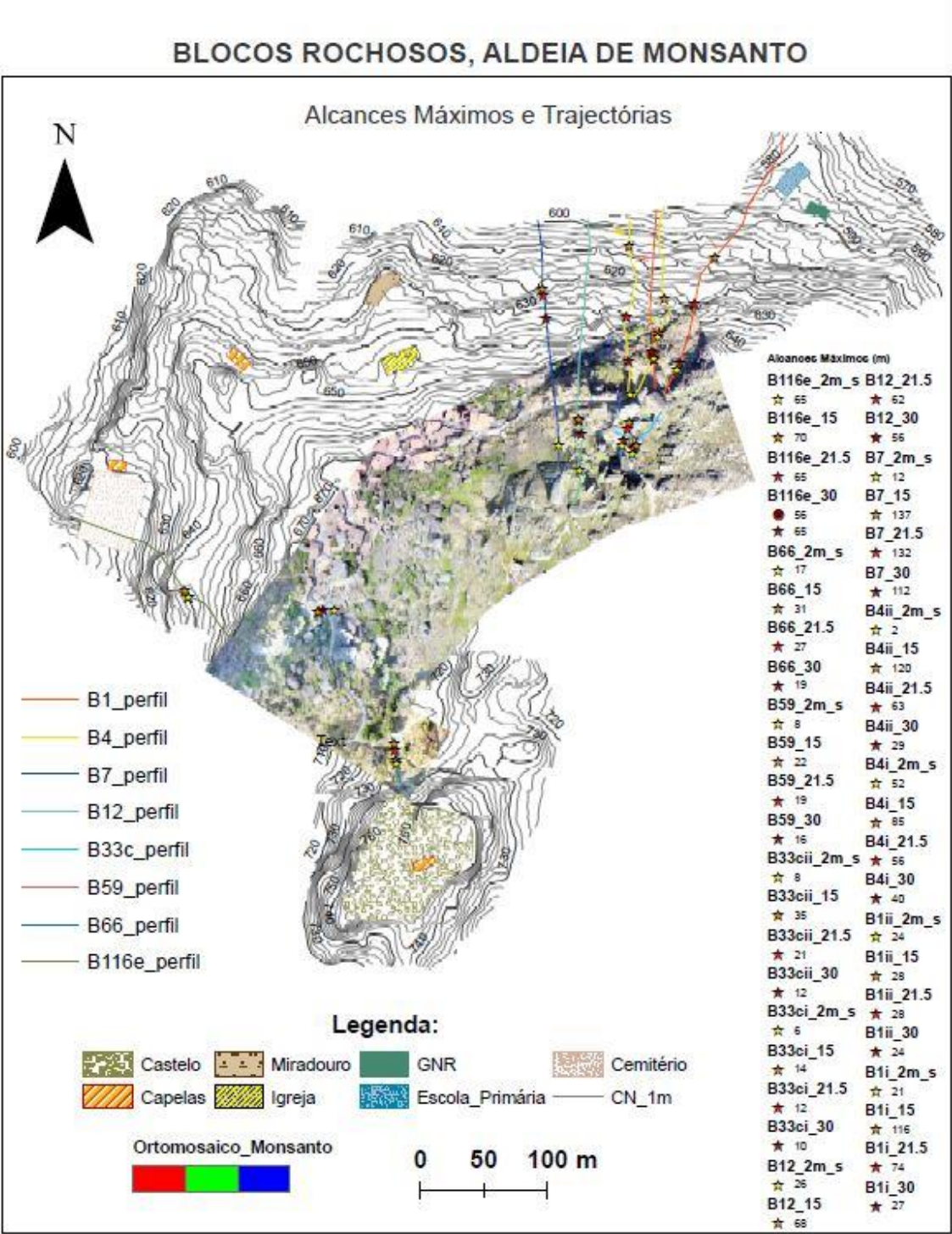




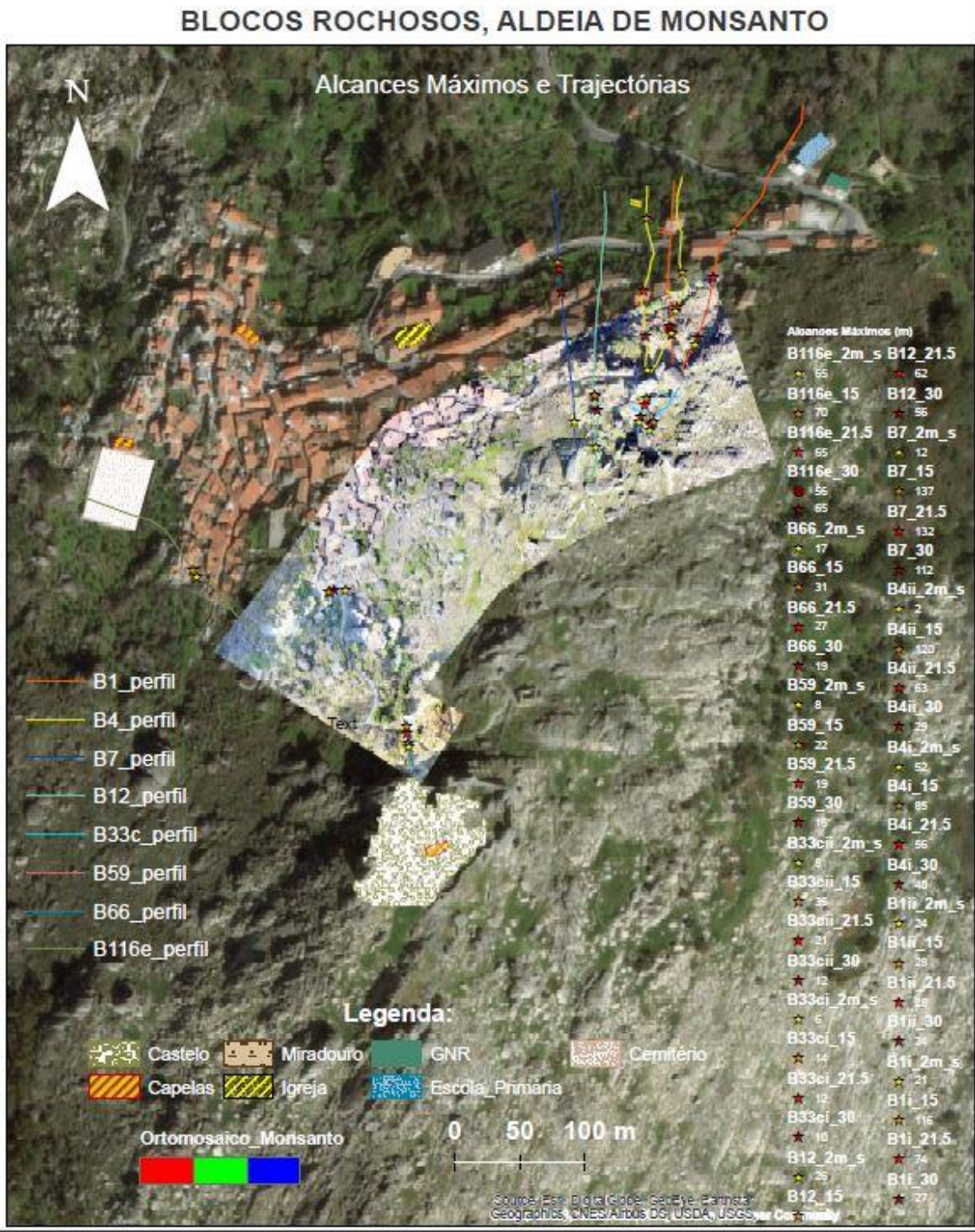


Anexo 7 k - Bloco 116e

ANEXO 8 – Mapas de Trajectórias e Alcances



Anexo 8 a - Alcances Máximos e Trajectórias, Curvas de Nível



Anexo 8 b - Alcances Máximos e Trajectórias, Imagem Satélite